

Aus dem Arbeitsbereich Trainings- und Bewegungswissenschaft der  
Universität Bayreuth

Leitung: Prof. Dr. Andreas Hohmann

**Auswirkungen eines Ultralangstreckenlaufs auf ausgewählte  
physiologische und psychologische Parameter als mögliche  
Marker von Überbelastungen**

**Eine Untersuchung von Teilnehmern des  
Deutschlandlaufs 2008**

Dissertation

zur Erlangung des Doktorgrades an der Kulturwissenschaftlichen Fakultät der  
Universität Bayreuth

vorgelegt von

Thomas Bossmann

Stuttgart, 2011





“IT IS BETTER TO KNOW SOME OF THE QUESTIONS THAN ALL OF THE  
ANSWERS”

(JAMES THURBER)

Die vorliegende Arbeit wurde am Lehrstuhl für Trainings- und Bewegungswissenschaft der kulturwissenschaftlichen Fakultät der Universität Bayreuth unter der Betreuung von Herrn Prof. Dr. Andreas Hohmann und Prof. Dr. Mark Pfeiffer angefertigt.

Tag der Annahme der Arbeit: 20.07.2011

Tag des wissenschaftlichen Kolloquiums: 25.07.2011

Mitglieder des Prüfungsausschusses:      Herr Prof. Dr. Andreas Hohmann (1. Gutachter)  
   Herr Prof. Dr. Mark Pfeiffer (2. Gutachter)  
   Herr Prof. Dr. Luwig Haag

Eidesstattliche Versicherung:

Ich versichere hiermit an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit ohne unzulässige Hilfe Dritter und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe; die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Gedanken sind als solche kenntlich gemacht.

Die Arbeit wurde bisher weder im Inland noch im Ausland in gleicher oder ähnlicher Form einer anderen Prüfungsbehörde vorgelegt und ist auch noch nicht veröffentlicht.

---



## Danksagung

Die vorliegende Arbeit wurde am Lehrstuhl für Trainings- und Bewegungswissenschaft der Universität Bayreuth angefertigt.

Ich danke Herrn Prof. Dr. Andreas Hohmann und Herrn Prof. Dr. Mark Pfeiffer für die Möglichkeit zur eigenständigen Bearbeitung des Promotionsthemas und für die Unterstützung und Betreuung dieser Arbeit.

Weiterhin danke ich Herrn Prof. Dr. Olaf Hoos für die geduldige und kompetente Hilfe bei der Auswahl, Auswertung und Interpretation der Parameter der Herzfrequenzvariabilität, für den regen Gedankenaustausch und sein aufmunterndes Interesse an dieser Arbeit.

Ich danke Herrn Dr. Roger Vogel für die Inspiration zu diesem Thema und den Startschuss in dieses oftmals verzweifelnd weitläufige und ungreifbare Themengebiet. Ich danke ihm für seinen fachmännischen Rat und sein offenes Ohr.

Weiter danke ich den Teilnehmern dieser Studie für ihre Mitarbeit, dem Betreuerteam des Deutschlandlaufs und Ingo Schulze für dessen Unterstützung bei der Durchführung der Studie.

Dankeschön Mark Twain für den Hinweis mit den Illusionen und Dankeschön Joachim Eriksen für dessen Kalksteinskulptur einer Läuferin, das blaue Band für den Hinweis dafür, dass manchmal mehr möglich ist, als man selbst glauben mag.

Ich danke ganz besonders meinen Eltern für die geduldige und auch finanzielle Unterstützung dieses in Eigenregie durchgeführten Projekts. Ohne sie wäre diese Arbeit nicht entstanden oder niemals fertig geworden. Außerdem danke ich all jenen, die mich in den Jahren der Entstehung dieser Arbeit begleitet haben, allen lieben Freunden, auch den manchmal vernachlässigten, vor allem aber Anna, Sascha und Niko.



# Inhaltsverzeichnis

<b>Tabellenverzeichnis .....</b>	<b>1</b>
<b>Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>5</b>
<b>Formelverzeichnis .....</b>	<b>12</b>
<b>1 Einleitung .....</b>	<b>1</b>
<b>2 Theoretische Grundlagen .....</b>	<b>8</b>
2.1 Begriffsbestimmung Übertraining.....	8
2.2 Merkmale sportlichen Trainings.....	13
2.2.1 Training und Leistung.....	15
2.2.2 Kritische Belastungsfaktoren .....	16
2.3 Ermüdung .....	17
2.3.1 Kardiovaskuläre Prozesse.....	17
2.3.2 Energiebereitstellung.....	18
2.3.3 Zentrale Steuerungsprozesse .....	19
2.3.4 Autonomes Nervensystem .....	19
2.3.5 Biomechanische Prozesse .....	21
2.3.6 Psychologische und motivationale Aspekte .....	22
2.4 Was meint Leistungsminderung?.....	22
2.5 Erscheinungsformen des Übertrainingssyndroms .....	23
2.5.1 Das addisonoide Übertrainingssyndrom .....	24
2.5.2 Das basedowoide Übertrainingssyndrom.....	25
2.6 Auswahl diagnostischer Parameter .....	26
2.7 Diskussion ausgewählter Aspekte zur Diagnostik .....	29
<b>3 Aktueller Forschungsstand zum Thema Übertraining .....</b>	<b>32</b>
3.1 Stressoren.....	34
3.2 Leistung .....	35
3.2.1 Leistungsminderungen bei Beobachtungsstudien.....	36
3.2.2 Leistungsminderungen bei (quasi-)experimentellen Studien .....	39
3.3 Symptome.....	47
3.3.1 Herzfrequenz.....	47
3.3.1.1 Physiologische Grundlagen .....	47
3.3.1.2 Erklärungsmechanismen für Veränderungen der Herzfrequenz.....	48
3.3.1.3 Bisherige Studienergebnisse Herzfrequenz.....	50
3.3.1.4 Diskussion der Studienergebnisse zur Herzfrequenz .....	56
3.3.2 Herzfrequenzvariabilität.....	58
3.3.2.1 Physiologische Grundlagen .....	58
3.3.2.2 Parameter der Herzfrequenzvariabilität (HRV) .....	60
3.3.2.3 Bisherige Studienergebnisse Herzfrequenzvariabilität.....	64
3.3.2.4 Diskussion der Studienergebnisse zur Herzfrequenzvariabilität .....	72
3.3.3 Laktat.....	76
3.3.3.1 Physiologische Grundlagen .....	76
3.3.3.2 Bisherige Studienergebnisse Laktat.....	77
3.3.3.3 Diskussion der Studienergebnisse zum Laktatverhalten .....	81
3.3.4 Befindlichkeit .....	83
3.3.4.1 Erklärungsansätze für Befindlichkeitsveränderungen durch sportliches Training.....	84
3.3.4.2 Instrumente zur Erfassung der Befindlichkeit.....	85
3.3.4.3 Bisherige Studienergebnisse Befindlichkeit .....	86
3.3.4.4 Diskussion der Studienergebnisse zur Befindlichkeit.....	88
3.3.5 Weitere Symptome .....	90
3.4 Diskussion des aktuellen Forschungsstands .....	92

<b>4</b>	<b>Material und Methoden</b>	<b>97</b>
4.1	Ziel des Forschungsprojekts	97
4.2	Teilnehmer/Untersuchungspersonen	98
4.3	Der Deutschlandlauf	99
4.4	Untersuchungsdurchführung	99
4.5	Messinstrumente	102
4.5.1	Befindlichkeit	102
4.5.2	Herzfrequenz und Herzfrequenzvariabilität	102
4.5.3	Belastungsparameter	103
4.5.4	Leistung	104
4.5.5	Weitere Messinstrumente	105
4.6	Untersuchungsmethoden	106
4.6.1	Trainings- und Wettkampfbelastung	106
4.6.2	Befindlichkeit	107
4.6.3	Herzfrequenz und Herzfrequenzvariabilität	107
4.6.4	Leistungsdiagnostik	112
4.7	Diagnoseparameter	114
4.8	Statistische Methoden	115
<b>5</b>	<b>Untersuchungsergebnisse und Diskussion</b>	<b>116</b>
5.1	Allgemeine Informationen	117
5.1.1	TN1	117
5.1.2	TN2	117
5.1.3	TN3	118
5.1.4	TN4	118
5.1.5	TN5	119
5.1.6	TN6	119
5.2	Deskriptive Ergebnisdarstellung	120
5.2.1	Stressoren	120
5.2.1.1	TN1	120
5.2.1.2	TN2	122
5.2.1.3	TN3	123
5.2.1.4	TN4	124
5.2.1.5	TN5	125
5.2.1.6	TN6	126
5.2.1.7	Zusammenfassung und Diskussion	127
5.2.2	Leistung	130
5.2.2.1	TN1	130
5.2.2.2	TN2	134
5.2.2.3	TN3	138
5.2.2.4	TN4	142
5.2.2.5	TN5	145
5.2.2.6	TN6	147
5.2.2.7	Zusammenfassung und Diskussion	150
5.2.3	Befindlichkeit	159
5.2.3.1	TN1	159
5.2.3.2	TN2	164
5.2.3.3	TN3	168
5.2.3.4	TN4	171
5.2.3.5	TN5	175
5.2.3.6	TN6	178
5.2.3.7	Zusammenfassung und Diskussion	178
5.2.4	Herzfrequenzvariabilität und Ruheherzfrequenz	184
5.2.4.1	TN1	184
5.2.4.2	TN2	201
5.2.4.3	TN3	216
5.2.4.4	TN4	227

5.2.4.5 TN5 .....	242
5.2.4.6 TN6 .....	258
5.2.4.7 Zusammenfassung und Diskussion .....	273
5.2.5 Diskussion vorliegender Überbelastungen .....	291
5.2.5.1 TN1 .....	292
5.2.5.2 TN2 .....	292
5.2.5.3 TN3 .....	293
5.2.5.4 TN4 .....	294
5.2.5.5 TN5 .....	295
5.2.5.6 TN6 .....	295
5.3 Analytische Statistik .....	296
5.3.1 TN1 .....	296
5.3.1.1 Ruheherzfrequenz .....	296
5.3.1.2 Parameter der Herzfrequenzvariabilität .....	297
5.3.1.3 Befindlichkeit .....	298
5.3.2 TN2 .....	299
5.3.2.1 Ruheherzfrequenz .....	299
5.3.2.2 Parameter der Herzfrequenzvariabilität .....	300
5.3.2.3 Befindlichkeit .....	301
5.3.3 TN3 .....	302
5.3.3.1 Ruheherzfrequenz .....	302
5.3.3.2 Parameter der Herzfrequenzvariabilität .....	303
5.3.3.3 Befindlichkeit .....	304
5.3.4 TN4 .....	305
5.3.4.1 Ruheherzfrequenz .....	305
5.3.4.2 Parameter der Herzfrequenzvariabilität .....	306
5.3.4.3 Befindlichkeit .....	307
5.3.5 TN5 .....	308
5.3.5.1 Ruheherzfrequenz .....	308
5.3.5.2 Parameter der Herzfrequenzvariabilität .....	309
5.3.5.3 Befindlichkeit .....	310
5.3.6 TN6 .....	311
5.3.6.1 Ruheherzfrequenz .....	311
5.3.6.2 Parameter der Herzfrequenzvariabilität .....	312
5.7 Teilnehmerübergreifende Diskussion .....	313
5.7.1 Stressoren .....	313
5.7.2 Leistung .....	314
5.7.3 Symptome .....	315
<b>6 Schlussbetrachtung .....</b>	<b>326</b>
<b>7 Literaturverzeichnis .....</b>	<b>334</b>
<b>Anhang .....</b>	<b>349</b>
Informationen für Athleten .....	350
Verlaufsplan .....	352
Anleitung HF-Messungen .....	353
Vorabfragebogen .....	354
Befindlichkeitsfragebogen .....	355
Trainingsprotokoll .....	363
Wettkampfprotokoll .....	365
Informationen Leistungstest .....	367
Stufentest Laufband .....	368
Fragebogen zum Abschluss des Deutschlandlaufs .....	370
Borg-Skala .....	373
Institutsliste .....	374
SPSS-Syntax .....	375
Lebenslauf .....	376







## Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Geschätzte Häufigkeit von Erscheinungsformen eines Übertrainingssyndroms in unterschiedlichen Sportarten.....	5
Tab. 2: Verwendete Begrifflichkeiten zum Themengebiet „Übertraining“.....	13
Tab. 3: Ergebnisse vorliegender Beobachtungsstudien.....	38
Tab. 4: Ergebnisse experimenteller Studien mit bis zu 2 Wochen andauernden Interventionen.....	40
Tab. 5: Ergebnisse experimenteller Studien mit 2–4 Wochen andauernden Interventionen.....	43
Tab. 6: Ergebnisse experimenteller Studien mit länger als 4 Wochen andauernden Interventionen.....	45
Tab. 7: Tabellarischer Überblick über bisherige Studienergebnisse zur Herzfrequenz.....	53
Tab. 8: Tabellarischer Überblick über bisherige Studienergebnisse zur Herzfrequenzvariabilität.....	69
Tab. 9: Tabellarischer Überblick über bisherige Studienergebnisse zum Laktatverhalten.....	79
Tab. 10: Anthropometrische Daten der Teilnehmer.....	99
Tab. 11: Verwendete Messinstrumente, Messparameter und Häufigkeit der Messungen.....	100
Tab. 12: Unterschiedliche Messzeiträume der Untersuchungsteilnehmer.....	101
Tab. 13: Überblick über verwendete Messapparaturen, Software und beauftragte Institute.....	105
Tab. 14: Beschreibung der verwendeten Parameter der Herzfrequenz(variabilität).....	111
Tab. 15: Kriterien der durchgeführten stufenförmigen Ausbelastungstests.....	113
Tab. 16: Messzeiträume TN1.....	117
Tab. 17: Messzeiträume TN2.....	117
Tab. 18: Messzeiträume TN3.....	118
Tab. 19: Messzeiträume TN4.....	118
Tab. 20: Messzeiträume TN5.....	119
Tab. 21: Messzeiträume TN6.....	119
Tab. 22: Belastungsparameter der Teilnehmer während der unterschiedlichen Messzeiträume.....	129
Tab. 23: Ergebnisse der Leistungsdiagnostik während der Normwertbestimmung TN1.....	131
Tab. 24: Ergebnisse der 2. Leistungsdiagnostik TN1.....	134
Tab. 25: Ergebnisse der 3. Leistungsdiagnostik TN1.....	134
Tab. 26: Ergebnisse der Leistungsdiagnostik während der Normwertbestimmung TN2.....	135
Tab. 27: Ergebnisse der 3. Leistungsdiagnostik TN2.....	138
Tab. 28: Ergebnisse der Leistungsdiagnostik während der Normwertbestimmung TN3.....	139
Tab. 29: Ergebnisse der 2. Leistungsdiagnostik TN3.....	141
Tab. 30: Ergebnisse der 3. Leistungsdiagnostik TN3.....	142
Tab. 31: Ergebnisse der Leistungsdiagnostik während der Normwertbestimmung TN5.....	145
Tab. 32: Ergebnisse der Leistungsdiagnostik während der Normwertbestimmung TN6.....	148
Tab. 33: Ergebnisse der 2. Leistungsdiagnostik TN6.....	149
Tab. 34: Ergebnisse der 3. Leistungsdiagnostik TN6.....	150
Tab. 35: Ergebnisse der Leistungstests von TN1 bis TN6.....	158

Tab. 36: Mittelwerte positiver und negativer Befindlichkeitsparameter während der unterschiedlichen Messphasen bei TN1–TN5.....	183
Tab. 37: Zusammenfassung der kardiologischen Messparameter während der Normwert-bestimmung bei TN1.....	189
Tab. 38: Zusammenfassung der kardiologischen Messparameter während des Deutschlandlaufs bei TN1.....	194
Tab. 39: Zusammenfassung der kardiologischen Messparameter während der Regenerationsphase bei TN1 .....	200
Tab. 40: Zusammenfassung der kardiologischen Messparameter während der Normwertbestimmung bei TN2.....	205
Tab. 41: Zusammenfassung der kardiologischen Messparameter während des Deutschlandlaufs bei TN2.....	210
Tab. 42: Zusammenfassung der kardiologischen Messparameter während der Regenerationsphase bei TN2.....	215
Tab. 43: Zusammenfassung der kardiologischen Messparameter während der Normwertbestimmung bei TN3.....	221
Tab. 44: Zusammenfassung der kardiologischen Messparameter während des Deutschlandlaufs und der Regenerationsphase bei TN3.....	226
Tab. 45: Zusammenfassung der kardiologischen Messparameter während der Normwertbestimmung bei TN4.....	231
Tab. 46: Zusammenfassung der kardiologischen Messparameter während des Deutschlandlaufs bei TN4.....	236
Tab. 47: Zusammenfassung der kardiologischen Messparameter während der Regenerationsphase bei TN4.....	241
Tab. 48: Zusammenfassung der kardiologischen Messparameter während der Normwertbestimmung bei TN4.....	247
Tab. 49: Zusammenfassung der kardiologischen Messparameter während des Deutschlandlaufs bei TN5.....	252
Tab. 50: Zusammenfassung der kardiologischen Messparameter während der Regenerationsphase bei TN5.....	257
Tab. 51: Zusammenfassung der kardiologischen Messparameter während der Normwertbestimmung bei TN6.....	262
Tab. 52: Zusammenfassung der kardiologischen Messparameter während des Deutschlandlaufs bei TN6.....	267
Tab. 53: Zusammenfassung der kardiologischen Messparameter während der Regenerationsphase bei TN6.....	272
Tab. 54: Mittelwerte der kardiologischen Messparameter während der unterschiedlichen Messzeiträume für TN1-TN6.....	289

Tab. 55: Zusammenfassung leistungsdiagnostischer Parameter und symptomatischer Veränderungen während des Deutschlandlaufs und der Regenerationsphase bei erfolgreichen und nicht erfolgreichen Teilnehmern (* $p < 0.05$ , ** $p < 0.001$ ). .....	316
--	-----



## Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Modell der Superkompensation (de Marées, 2003, S. 314) .....	14
Abb. 2: Zentrale autonome Steuerungsprozesse (Klinke et al., 2005, S. 799) .....	21
Abb. 3: Ein Metamodell als Überblick über hierarchische Ebenen im Zusammenhang mit Leistungsminderungen .....	32
Abb. 4: Training und Wettkampf als unabhängige Variablen in bisherigen Studiendesigns .....	34
Abb. 5: Einfluss wirkender äußerer Belastungsfaktoren auf die sportliche Leistung in bisherigen Studien .....	35
Abb. 6: In bisherigen Studien dokumentierte symptomatische Veränderungen .....	47
Abb. 7: Einflussnahme des Vegetativums auf die Herzfrequenzvariabilität (Hoos, 2006, S. 30) .....	59
Abb. 8: Ableitung eines Tachogramms aus einem EKG (Horn, 2003, S. 20) .....	60
Abb. 9: Bildung der Wertepaare im Poincaré Plot (Horn, 2003, S. 25) .....	61
Abb. 10: Parameter im zweidimensionalen Poincaré Plot (Horn, 2003, S. 29) .....	62
Abb. 11: Prinzip der Signaldekomposition in die periodischen Bestandteile (Horn, 2003, S. 33) .....	63
Abb. 12: Mediationsmodell nach Robinson (2000, S. 151) .....	84
Abb. 13: Pulsuhren RS 800 (links) und S810i (rechts) .....	103
Abb. 14: Vorgenommene Einstellungen in der Software Kubios-HRV zur Ermittlung der Parameter der Herzfrequenzvariabilität .....	109
Abb. 15: Darstellung eines Poincaré Plots in Kubios-HRV .....	111
Abb. 16: Training und Wettkampf als wirkende Stressoren .....	120
Abb. 17: Einfluss der unterschiedlichen Belastungsphasen auf die sportliche Leistungsfähigkeit .....	130
Abb. 18: Verlauf der Wettkampfgeschwindigkeit von TN1 .....	132
Abb. 19: Verlauf des Anstrengungsempfindens während des Deutschlandlaufs bei TN1 .....	132
Abb. 20: Verlauf des körperlichen Befindens, der Motivation und der Wettkampfufrriedenheit von TN1 .....	133
Abb. 21: Verlauf der Wettkampfgeschwindigkeit von TN2 .....	136
Abb. 22: Verlauf des Anstrengungsempfindens während des Deutschlandlaufs bei TN2 .....	136
Abb. 23: Verlauf des körperlichen Befindens, der Motivation und der Wettkampfufrriedenheit von TN2 .....	137
Abb. 24: Verlauf der Wettkampfgeschwindigkeit von TN3 .....	140
Abb. 25: Verlauf des Anstrengungsempfindens während des Deutschlandlaufs bei TN3 .....	140
Abb. 26: Verlauf des körperlichen Befindens, der Motivation und der Wettkampfufrriedenheit von TN3 .....	141
Abb. 27: Verlauf der Wettkampfgeschwindigkeit von TN4 .....	143
Abb. 28: Verlauf des Anstrengungsempfindens während des Deutschlandlaufs bei TN4 .....	144
Abb. 29: Verlauf des körperlichen Befindens, der Motivation und der Wettkampfufrriedenheit von TN4 .....	144

Abb. 30: Verlauf der Wettkampfgeschwindigkeit von TN5 .....	146
Abb. 31: Verlauf des Anstrengungsempfindens während des Deutschlandlaufs bei TN5 .....	146
Abb. 32: Verlauf des körperlichen Befindens, der Motivation und der Wettkampfufrichtigkeit von TN5 .....	147
Abb. 33: Verlauf der Wettkampfgeschwindigkeit von TN6 .....	149
Abb. 34: Einfluss der unterschiedlichen Belastungsphasen auf die Befindlichkeit .....	159
Abb. 35: Mittelwerte der einzelnen Befindlichkeitsparameter während der Normwertbestimmung TN1	160
Abb. 36: Verlauf der Mittelwerte positiver und negativer Befindlichkeitsparameter während der Normwertbestimmung TN1 .....	161
Abb. 37: Mittelwerte der einzelnen Befindlichkeitsparameter während des DL TN1 .....	161
Abb. 38: Verlauf der Mittelwerte positiver und negativer Befindlichkeitsparameter während des DL TN1 .....	162
Abb. 39: Mittelwerte der einzelnen Befindlichkeitsparameter während der Regenerationsphase TN1	163
Abb. 40: Verlauf der Mittelwerte positiver und negativer Befindlichkeitsparameter während der Regenerationsphase TN1 .....	163
Abb. 41: Mittelwerte der einzelnen Befindlichkeitsparameter während der Normwertbestimmung TN2	164
Abb. 42: Verlauf der Mittelwerte positiver und negativer Befindlichkeitsparameter während der Normwertbestimmung TN2 .....	165
Abb. 43: Mittelwerte der einzelnen Befindlichkeitsparameter während des DL TN2 .....	166
Abb. 44: Verlauf der Mittelwerte positiver und negativer Befindlichkeitsparameter während des DL TN2 .....	166
Abb. 45: Mittelwerte der einzelnen Befindlichkeitsparameter während der Regenerationsphase TN2	167
Abb. 46: Verlauf der Mittelwerte positiver und negativer Befindlichkeitsparameter während der Regenerationsphase TN2 .....	168
Abb. 47: Mittelwerte der einzelnen Befindlichkeitsparameter während der Normwertbestimmung TN3	168
Abb. 48: Verlauf der Mittelwerte positiver und negativer Befindlichkeitsparameter während der Normwertbestimmung TN3 .....	169
Abb. 49: Mittelwerte der einzelnen Befindlichkeitsparameter während DL und der Regenerationsphase TN3 .....	170
Abb. 50: Verlauf der Mittelwerte positiver und negativer Befindlichkeitsparameter während DL und Regenerationsphase TN3 .....	170
Abb. 51: Mittelwerte der einzelnen Befindlichkeitsparameter während der Normwertbestimmung TN4	171
Abb. 52: Verlauf der Mittelwerte positiver und negativer Befindlichkeitsparameter während der Normwertbestimmung TN4 .....	172
Abb. 53: Mittelwerte der einzelnen Befindlichkeitsparameter während des DL TN4 .....	173
Abb. 54: Verlauf der Mittelwerte positiver und negativer Befindlichkeitsparameter während des DL TN4 .....	173
Abb. 55: Mittelwerte der einzelnen Befindlichkeitsparameter während der Regenerationsphase TN4	174



Abb. 56: Verlauf der Mittelwerte positiver und negativer Befindlichkeitsparameter während der Regenerationsphase TN4 .....	175
Abb. 57: Mittelwerte der einzelnen Befindlichkeitsparameter während der Normwertbestimmung TN5176	
Abb. 58: Verlauf der Mittelwerte positiver und negativer Befindlichkeitsparameter während der Normwertbestimmung TN5 .....	177
Abb. 59: Mittelwerte der einzelnen Befindlichkeitsparameter während des DL TN5 .....	177
Abb. 60: Verlauf der Mittelwerte positiver und negativer Befindlichkeitsparameter während des DL TN5.....	178
Abb. 61: Einfluss der unterschiedlichen Belastungsphasen auf die Parameter der Herzfrequenzvariabilität und die Ruheherzfrequenz .....	184
Abb. 62: Verlauf des RRsd während der Normwertbestimmung bei TN1.....	185
Abb. 63: Verlauf des rMSSD während der Normwertbestimmung bei TN1 .....	185
Abb. 64: Verlauf des SD1 während der Normwertbestimmung bei TN1.....	186
Abb. 65: Verlauf des SD2 während der Normwertbestimmung bei TN1.....	186
Abb. 66: Verlauf der Werte des LF-Bereichs (%) während der Normwertbestimmung bei TN1 .....	187
Abb. 67: Verlauf der Werte des HF-Bereichs (%) während der Normwertbestimmung bei TN1 .....	187
Abb. 68: Verlauf der Werte des LF-Bereichs ( $\text{ms}^2$ ) während der Normwertbestimmung bei TN1 .....	188
Abb. 69: Verlauf der Werte des HF-Bereichs ( $\text{ms}^2$ ) während der Normwertbestimmung bei TN1 .....	188
Abb. 70: Verlauf der Ruheherzfrequenz während der Normwertbestimmung bei TN1.....	189
Abb. 71: Verlauf des RRsd während des Deutschlandlaufs bei TN1.....	190
Abb. 72: Verlauf des rMSSD während des Deutschlandlaufs bei TN1 .....	190
Abb. 73: Verlauf des SD1 während des Deutschlandlaufs bei TN1.....	191
Abb. 74: Verlauf des SD2 während des Deutschlandlaufs bei TN1.....	191
Abb. 75: Verlauf der Werte des LF-Bereichs (%) während des Deutschlandlaufs bei TN1 .....	192
Abb. 76: Verlauf der Werte des HF-Bereichs (%) während des Deutschlandlaufs bei TN1 .....	192
Abb. 77: Verlauf der Werte des LF-Bereichs ( $\text{ms}^2$ ) während des Deutschlandlaufs bei TN1 .....	193
Abb. 78: Verlauf der Werte des HF-Bereichs ( $\text{ms}^2$ ) während des Deutschlandlaufs bei TN1 .....	193
Abb. 79: Verlauf der Ruheherzfrequenz während des Deutschlandlaufs bei TN1.....	194
Abb. 80: Verlauf des RRsd während der Regenerationsphase bei TN1.....	195
Abb. 81: Verlauf des rMSSD während der Regenerationsphase bei TN1 .....	196
Abb. 82: Verlauf des SD1 während der Regenerationsphase bei TN1.....	196
Abb. 83: Verlauf des SD2 während der Regenerationsphase bei TN1.....	197
Abb. 84: Verlauf der Werte des LF-Bereichs (%) während der Regenerationsphase bei TN1 .....	197
Abb. 85: Verlauf der Werte des HF-Bereichs (%) während der Regenerationsphase bei TN1 .....	198
Abb. 86: Verlauf der Werte des LF-Bereichs ( $\text{ms}^2$ ) während der Regenerationsphase bei TN1 .....	198
Abb. 87: Verlauf der Werte des HF-Bereichs ( $\text{ms}^2$ ) während der Regenerationsphase bei TN1 .....	199
Abb. 88: Verlauf der Ruheherzfrequenz während der Regenerationsphase bei TN1.....	199
Abb. 89: Verlauf des RRsd während der Normwertbestimmung bei TN2.....	201

Abb. 90: Verlauf des rMSSD während der Normwertbestimmung bei TN2 .....	201
Abb. 91: Verlauf des SD1 während der Normwertbestimmung bei TN2.....	202
Abb. 92: Verlauf des SD2 während der Normwertbestimmung bei TN2.....	202
Abb. 93: Verlauf der Werte des LF-Bereichs (%) während der Normwertbestimmung bei TN2 .....	203
Abb. 94: Verlauf der Werte des HF-Bereichs (%) während der Normwertbestimmung bei TN2 .....	203
Abb. 95: Verlauf der Werte des LF-Bereichs ( $\text{ms}^2$ ) während der Normwertbestimmung bei TN2 .....	204
Abb. 96: Verlauf der Werte des HF-Bereichs während der Normwertbestimmung bei TN2 .....	204
Abb. 97: Verlauf der Ruheherzfrequenz während der Normwertbestimmung bei TN2.....	205
Abb. 98: Verlauf des RRsd während des Deutschlandlaufs bei TN2.....	206
Abb. 99: Verlauf des rMSSD während des Deutschlandlaufs bei TN2 .....	206
Abb. 100: Verlauf des SD1 während des Deutschlandlaufs bei TN2.....	207
Abb. 101: Verlauf des SD2 während des Deutschlandlaufs bei TN2.....	207
Abb. 102: Verlauf der Werte des LF-Bereichs (%) während des Deutschlandlaufs bei TN2 .....	208
Abb. 103: Verlauf der Werte des HF-Bereichs (%) während des Deutschlandlaufs bei TN2 .....	208
Abb. 104: Verlauf der Werte des LF-Bereichs ( $\text{ms}^2$ ) während des Deutschlandlaufs bei TN2 .....	209
Abb. 105: Verlauf der Werte des HF-Bereichs ( $\text{ms}^2$ ) während des Deutschlandlaufs bei TN2 .....	209
Abb. 106: Verlauf der Ruheherzfrequenz während des Deutschlandlaufs bei TN2.....	210
Abb. 107: Verlauf des RRsd während der Regenerationsphase bei TN2.....	211
Abb. 108: Verlauf des rMSSD während der Regenerationsphase bei TN2 .....	211
Abb. 109: Verlauf des SD1 während der Regenerationsphase bei TN2.....	212
Abb. 110: Verlauf des SD2 während der Regenerationsphase bei TN2.....	212
Abb. 111: Verlauf der Werte des LF-Bereichs (%) während der Regenerationsphase bei TN2 .....	213
Abb. 112: Verlauf der Werte des HF-Bereichs (%) während der Regenerationsphase bei TN2 .....	213
Abb. 113: Verlauf der Werte des LF-Bereichs ( $\text{ms}^2$ ) während der Regenerationsphase bei TN2 .....	214
Abb. 114: Verlauf der Werte des HF-Bereichs ( $\text{ms}^2$ ) während der Regenerationsphase bei TN2 .....	214
Abb. 115: Verlauf der Ruheherzfrequenz während der Regenerationsphase bei TN2.....	215
Abb. 116: Verlauf des RRsd während der Normwertbestimmung bei TN3.....	216
Abb. 117: Verlauf des rMSSD während der Normwertbestimmung bei TN3 .....	217
Abb. 118: Verlauf des SD1 während der Normwertbestimmung bei TN3.....	217
Abb. 119: Verlauf des SD2 während der Normwertbestimmung bei TN3.....	218
Abb. 120: Verlauf der Werte des LF-Bereichs (%) während der Normwertbestimmung bei TN3 .....	218
Abb. 121: Verlauf der Werte des HF-Bereichs (%) während der Normwertbestimmung bei TN3 .....	219
Abb. 122: Verlauf der Werte des LF-Bereichs ( $\text{ms}^2$ ) während der Normwertbestimmung bei TN3 .....	219
Abb. 123: Verlauf der Werte des HF-Bereichs während der Normwertbestimmung bei TN3 .....	220
Abb. 124: Verlauf der Ruheherzfrequenz während der Normwertbestimmung bei TN3.....	220
Abb. 125: Verlauf des RRsd während des DL und der Regenerationsphase bei TN3 .....	221
Abb. 126: Verlauf des rMSSD während des DL und der Regenerationsphase bei TN3.....	222
Abb. 127: Verlauf des SD1 während des DL und der Regenerationsphase bei TN3 .....	222

Abb. 128: Verlauf des SD2 während des DL und der Regenerationsphase bei TN3 .....	223
Abb. 129: Verlauf der Werte des LF-Bereichs (%) während des DL und der Regenerationsphase bei TN3.....	223
Abb. 130: Verlauf der Werte des HF-Bereichs (%) während des DL und der Regenerationsphase bei TN3.....	224
Abb. 131: Verlauf der Werte des LF-Bereichs (ms <sup>2</sup> ) während des DL und der Regenerationsphase bei TN3 .....	224
Abb. 132: Verlauf der Werte des HF-Bereichs (ms <sup>2</sup> ) während des DL und der Regenerationsphase bei TN3 .....	225
Abb. 133: Verlauf der Ruheherzfrequenz während des DL und der Regenerationsphase bei TN3 .....	225
Abb. 134: Verlauf des RRsd während der Normwertbestimmung bei TN4 .....	227
Abb. 135: Verlauf des rMSSD während der Normwertbestimmung bei TN4 .....	228
Abb. 136: Verlauf des SD1 während der Normwertbestimmung bei TN4 .....	228
Abb. 137: Verlauf des SD2 während der Normwertbestimmung bei TN4 .....	229
Abb. 138: Verlauf der Werte des LF-Bereichs (%) während der Normwertbestimmung bei TN4 .....	229
Abb. 139: Verlauf der Werte des HF-Bereichs (%) während der Normwertbestimmung bei TN4 .....	230
Abb. 140: Verlauf der Werte des LF-Bereichs (ms <sup>2</sup> ) während der Normwertbestimmung bei TN4 .....	230
Abb. 141: Verlauf der Werte des HF-Bereichs (ms <sup>2</sup> ) während der Normwertbestimmung bei TN4 .....	230
Abb. 142: Verlauf der Ruheherzfrequenz während der Normwertbestimmung bei TN4 .....	231
Abb. 143: Verlauf des RRsd während des Deutschlandlaufs bei TN4 .....	232
Abb. 144: Verlauf des rMSSD während des Deutschlandlaufs bei TN4 .....	232
Abb. 145: Verlauf des SD1 während des Deutschlandlaufs bei TN4 .....	233
Abb. 146: Verlauf des SD2 während des Deutschlandlaufs bei TN4 .....	233
Abb. 147: Verlauf der Werte des LF-Bereichs (%) während des Deutschlandlaufs bei TN4 .....	234
Abb. 148: Verlauf der Werte des HF-Bereichs (%) während des Deutschlandlaufs bei TN4 .....	234
Abb. 149: Verlauf der Werte des LF-Bereichs (ms <sup>2</sup> ) während des Deutschlandlaufs bei TN4 .....	235
Abb. 150: Verlauf der Werte des HF-Bereichs während des Deutschlandlaufs bei TN4 .....	235
Abb. 151: Verlauf der Ruheherzfrequenz während des Deutschlandlaufs bei TN4 .....	236
Abb. 152: Verlauf des RRsd während der Regenerationsphase bei TN4 .....	237
Abb. 153: Verlauf des rMSSD während der Regenerationsphase bei TN4 .....	237
Abb. 154: Verlauf des SD1 während der Regenerationsphase bei TN4 .....	238
Abb. 155: Verlauf des SD2 während der Regenerationsphase bei TN4 .....	238
Abb. 156: Verlauf der Werte des LF-Bereichs (%) während der Regenerationsphase bei TN4 .....	239
Abb. 157: Verlauf der Werte des HF-Bereichs (%) während der Regenerationsphase bei TN4 .....	239
Abb. 158: Verlauf der Werte des LF-Bereichs (ms <sup>2</sup> ) während der Regenerationsphase bei TN 4 .....	240
Abb. 159: Verlauf der Werte des HF-Bereichs (ms <sup>2</sup> ) während der Regenerationsphase bei TN4 .....	240
Abb. 160: Verlauf der Ruheherzfrequenz während der Regenerationsphase bei TN4 .....	241
Abb. 161: Verlauf des RRsd während der Normwertbestimmung bei TN5 .....	242

Abb. 162: Verlauf des rMSSD während der Normwertbestimmung bei TN5 .....	243
Abb. 163: Verlauf des SD1 während der Normwertbestimmung bei TN5.....	243
Abb. 164: Verlauf des SD2 während der Normwertbestimmung bei TN5.....	244
Abb. 165: Verlauf der Werte des LF-Bereichs (%) während der Normwertbestimmung bei TN5 .....	244
Abb. 166: Verlauf der Werte des HF-Bereichs (%) während der Normwertbestimmung bei TN5 .....	245
Abb. 167: Verlauf der Werte des LF-Bereichs ( $\text{ms}^2$ ) während der Normwertbestimmung bei TN5 .....	245
Abb. 168: Verlauf der Werte des HF-Bereichs ( $\text{ms}^2$ ) während der Normwertbestimmung bei TN5 .....	246
Abb. 169: Verlauf der Ruheherzfrequenz während der Normwertbestimmung bei TN5.....	246
Abb. 170: Verlauf des RRsd während des Deutschlandlaufs bei TN5.....	247
Abb. 171: Verlauf des rMSSD während des Deutschlandlaufs bei TN5 .....	248
Abb. 172: Verlauf des SD1 während des Deutschlandlaufs bei TN5.....	248
Abb. 173: Verlauf des SD2 während des Deutschlandlaufs bei TN5.....	249
Abb. 174: Verlauf der Werte des LF-Bereichs (%) während des Deutschlandlaufs bei TN5 .....	249
Abb. 175: Verlauf der Werte des HF-Bereichs (%) während des Deutschlandlaufs bei TN5 .....	250
Abb. 176: Verlauf der Werte des LF-Bereichs ( $\text{ms}^2$ ) während des Deutschlandlaufs bei TN5 .....	250
Abb. 177: Verlauf der Werte des HF-Bereichs ( $\text{ms}^2$ ) während des Deutschlandlaufs bei TN5 .....	251
Abb. 178: Verlauf der Ruheherzfrequenz während des Deutschlandlaufs bei TN5.....	251
Abb. 179: Verlauf des RRsd während der Regenerationsphase bei TN5.....	253
Abb. 180: Verlauf des rMSSD während der Regenerationsphase bei TN5 .....	253
Abb. 181: Verlauf des SD1 während der Regenerationsphase bei TN5.....	254
Abb. 182: Verlauf des SD2 während der Regenerationsphase bei TN5.....	254
Abb. 183: Verlauf der Werte des LF-Bereichs (%) während der Regenerationsphase bei TN5 .....	255
Abb. 184: Verlauf der Werte des HF-Bereichs (%) während der Regenerationsphase bei TN5 .....	255
Abb. 185: Verlauf der Werte des LF-Bereichs ( $\text{ms}^2$ ) während der Regenerationsphase bei TN5 .....	256
Abb. 186: Verlauf der Werte des HF-Bereichs ( $\text{ms}^2$ ) während der Regenerationsphase bei TN5 .....	256
Abb. 187: Verlauf der Ruheherzfrequenz während der Regenerationsphase bei TN5.....	257
Abb. 188: Verlauf des RRsd während der Normwertbestimmung bei TN6.....	258
Abb. 189: Verlauf des rMSSD während der Normwertbestimmung bei TN6 .....	258
Abb. 190: Verlauf des SD1 während der Normwertbestimmung bei TN6.....	259
Abb. 191: Verlauf des SD2 während der Normwertbestimmung bei TN6.....	259
Abb. 192: Verlauf der Werte des LF-Bereichs (%) während der Normwertbestimmung bei TN6 .....	260
Abb. 193: Verlauf der Werte des HF-Bereichs (%) während der Normwertbestimmung bei TN6 .....	260
Abb. 194: Verlauf der Werte des LF-Bereichs ( $\text{ms}^2$ ) während der Normwertbestimmung bei TN6 .....	261
Abb. 195: Verlauf der Werte des HF-Bereichs ( $\text{ms}^2$ ) während der Normwertbestimmung bei TN6 .....	261
Abb. 196: Verlauf der Ruheherzfrequenz während der Normwertbestimmung bei TN6.....	262
Abb. 197: Verlauf des RRsd während des Deutschlandlaufs bei TN6.....	263
Abb. 198: Verlauf des rMSSD während des Deutschlandlaufs bei TN6 .....	263
Abb. 199: Verlauf des SD1 während des Deutschlandlaufs bei TN6.....	264

Abb. 200: Verlauf des SD1 während des Deutschlandlaufs bei TN6.....	264
Abb. 201: Verlauf der Werte des LF-Bereichs (%) während des Deutschlandlaufs bei TN6.....	265
Abb. 202: Verlauf der Werte des HF-Bereichs (%) während des Deutschlandlaufs bei TN6 .....	265
Abb. 203: Verlauf der Werte des LF-Bereichs ( $\text{ms}^2$ ) während des Deutschlandlaufs bei TN6 .....	266
Abb. 204: Verlauf der Werte des HF-Bereichs während des Deutschlandlaufs bei TN6.....	266
Abb. 205: Verlauf der Ruheherzfrequenz während des Deutschlandlaufs bei TN6.....	267
Abb. 206: Verlauf des RRsd während der Regenerationsphase bei TN6.....	268
Abb. 207: Verlauf des rMSSD während der Regenerationsphase bei TN6 .....	268
Abb. 208: Verlauf des SD1 während der Regenerationsphase bei TN6.....	269
Abb. 209: Verlauf des SD2 während der Regenerationsphase bei TN6.....	269
Abb. 210: Verlauf der Werte des LF-Bereichs (%) während der Regenerationsphase bei TN6 .....	270
Abb. 211: Verlauf der Werte des HF-Bereichs (%) während der Regenerationsphase bei TN6 .....	270
Abb. 212: Verlauf der Werte des LF-Bereichs ( $\text{ms}^2$ ) während der Regenerationsphase bei TN6 .....	271
Abb. 213: Verlauf der Werte des HF-Bereichs ( $\text{ms}^2$ ) während der Regenerationsphase bei TN6 .....	271
Abb. 214: Verlauf der Ruheherzfrequenz während der Regenerationsphase bei TN6.....	272
Abb. 215: Mittelwerte der Ruheherzfrequenz während der unterschiedlichen Messphasen bei TN1 ..	296
Abb. 216: Mittelwerte der Parameter der Herzfrequenzvariabilität während der unterschiedlichen Messphasen bei TN1 .....	297
Abb. 217: Mittelwerte der positiven und negativen Befindlichkeitsparameter während der unterschiedlichen Messphasen bei TN1 .....	298
Abb. 218: Mittelwerte der Ruheherzfrequenz während der unterschiedlichen Messphasen bei TN2 ..	299
Abb. 219: Mittelwerte der Parameter der Herzfrequenzvariabilität während der unterschiedlichen Messphasen bei TN2 .....	300
Abb. 220: Mittelwerte der positiven und negativen Befindlichkeitsparameter während der unterschiedlichen Messphasen bei TN2 .....	301
Abb. 221: Mittelwerte der Ruheherzfrequenz während der unterschiedlichen Messphasen bei TN3 ..	302
Abb. 222: Mittelwerte der Parameter der Herzfrequenzvariabilität während der unterschiedlichen Messphasen bei TN3 .....	303
Abb. 223: Mittelwerte der positiven und negativen Befindlichkeitsparameter während der unterschiedlichen Messphasen bei TN3 .....	304
Abb. 224: Mittelwerte der Ruheherzfrequenz während der unterschiedlichen Messphasen bei TN4 ..	305
Abb. 225: Mittelwerte der Parameter der Herzfrequenzvariabilität während der unterschiedlichen Messphasen bei TN4 .....	306
Abb. 226: Mittelwerte der positiven und negativen Befindlichkeitsparameter während der unterschiedlichen Messphasen bei TN4 .....	307
Abb. 227: Mittelwerte der Ruheherzfrequenz während der unterschiedlichen Messphasen bei TN5 ..	308
Abb. 228: Mittelwerte der Parameter der Herzfrequenzvariabilität während der unterschiedlichen Messphasen bei TN5 .....	309

Abb. 229: Mittelwerte der positiven und negativen Befindlichkeitsparameter während der unterschiedlichen Messphasen bei TN5 .....	310
Abb. 230: Mittelwerte der Ruheherzfrequenz während der unterschiedlichen Messphasen bei TN6 ..	311
Abb. 231: Mittelwerte der Parameter der Herzfrequenzvariabilität während der unterschiedlichen Messphasen bei TN6 .....	312
Abb. 232: Einfluss äußerer Stressoren auf die Leistungs- und Symptomebene .....	313

## Formelverzeichnis

Formel 1: Täglicher Belastungsindex.....	106
Formel 2: Wöchentlicher Belastungsindex.....	106
Formel 3: Grenzwert positive Parameter .....	107
Formel 4: Grenzwert negative Parameter.....	107
Formel 5: Berechnung RMSSD .....	110
Formel 6: Berechnung SDNN .....	110

# 1 Einleitung

Planung und Durchführung sportlichen Trainings haben im Leistungssport wie auch im ambitionierten Freizeitsport das Ziel, die individuellen Kapazitäten biologischer Belastbarkeit von Athleten optimal auszunutzen, sodass maximale Leistungszuwächse möglich sind. Sportler sind dabei grundsätzlich der Gefahr ausgesetzt, entweder zu wenig oder zu viel zu trainieren, um ihre höchstmögliche Leistungsfähigkeit zu erreichen.

Wird die jeweilige individuelle Grenze der Belastbarkeit durch zu hohe Belastungsumfänge oder Belastungsintensitäten, durch zu kurze Regenerationsphasen, Trainingsmonotonie oder durch zusätzliche weitere Stressoren überschritten und der Sportler dauerhaft physisch und/oder psychisch überlastet, kann dies zu funktionellen organischen Störungen, zu Verletzungen, erhöhter Infektanfälligkeit (Lehmann, Dickhuth, Gendrich, Lazar, Thum, Kaminski, Aramendi, Peterke, Wieland & Keul, 1991; Lehmann, Steinacker & Gastmann, 1998; Silva, 1990) oder zur Ausbildung des sogenannten Übertrainingssyndroms führen – einem Symptomkomplex, der auf eine systemische Erschöpfung zurückzuführen ist (Vogel, 2001). Ein solcher Zustand ist immer verbunden mit einer unerwarteten bzw. ungeplanten und längerfristigen Abnahme oder Stagnation der sportartspezifischen Leistungsfähigkeit, ohne dass krankheitsbedingte Ursachen vorliegen. Es kommt zu einer Störung des psychophysischen Gleichgewichtszustands, welche mit einer Vielzahl möglicher Symptome einhergehen kann. Häufig wird ein Zusammenhang mit dem Auftreten von Verletzungen vermutet (Silva, 1990), die als Folgeerscheinungen zu hoher Belastungsfaktoren auftreten (Smith, Smoll & Ptacek, 1990; Vetter & Symonds, 2010) und gleichzeitig über eine Beeinträchtigung der Regenerationsfähigkeit der betroffenen Sportler die Ausbildung eines Übertrainingssyndroms begünstigen können (Hollander, Meyers & LeUnes, 1995). Die Konsequenzen sowie die zeitliche Dauer eines solchen Erschöpfungszustands sind nur unzureichend abschätzbar und gefährden neben sportlichen Zielen auch die Gesundheit des Athleten.

Verwertbare Aussagen, wie sich intensiv trainierende Sportler vor einem solchen systemischen Zusammenbruch schützen können, fehlen bis heute. Die Gründe dafür liegen in der Vielfalt möglicher Symptome, die interindividuell beträchtlich variieren (Kenttä, Hassmén & Raglin, 2001), in der individuell unterschiedlichen Empfindlichkeit gegenüber Belastungsfaktoren sowie in den kaum zu steuernden multifaktoriellen Auslösern durch zusätzlich zum sportlichen Training oder Wettkampf wirkende Stressoren (Urhausen & Kindermann, 2000). Es besteht weiterhin die Schwierigkeit, dass ohne eine zweifelsfrei festgestellte sportartspezifische Leistungsminderung und eine Abschätzung deren zeitlicher Dauer eine eindeutige begriffliche Einordnung des vorliegenden Ermüdungs- oder Erschöpfungszustands nicht zu leisten ist. Somit ist eine Diagnose bis zum heutigen Zeitpunkt, wenn überhaupt, erst retrospektiv möglich, wenn nämlich deutlich geworden ist, ob der betreffende Sportler sich von seinem Leistungstief in einem vorgegebenen Zeitrahmen erholen konnte oder nicht und krankheitsbedingte Ursachen anhand weiterer eingehender medizinischer Untersuchungen ausgeschlossen werden konnten. Erst vor dem Hintergrund des individuellen Leistungsverlaufs ist eine entsprechende Interpretation aufgetretener symptomatischer Veränderungen möglich.

Eine hinreichende Operationalisierung des Phänomens „Übertraining“ und vor allem eine einheitliche Verwendung sowie Differenzierung der Begrifflichkeiten im Zusammenhang mit

Ermüdungszuständen und Leistungsminderungen bilden die Voraussetzung dafür, einen Konsens möglicher Frühwarnsymptome zu vereinbaren, erweisen sich jedoch bis heute als weitere Probleme.

Es gibt dennoch, oder gerade deshalb, eine Vielzahl von Untersuchungen, die sich mit dem Themengebiet „Übertraining“ auseinandersetzen und dabei teils widersprüchliche physiologische (blutchemische, kardiologische) sowie psychologische Parameterveränderungen während intensiver Trainings- oder Wettkampfphasen dokumentieren. Dabei lassen sich zumeist kurzfristig angelegte experimentelle oder quasiexperimentelle Untersuchungsdesigns von längerfristigen Beobachtungsstudien unterscheiden.

Der vielen experimentellen Untersuchungen eigene Versuch, gezielt ein Übertrainingssyndrom bei Sportlern herbeizuführen, gestaltete sich jedoch aus unterschiedlichen Gründen als schwierig (vgl. Garcin, Fleury & Billat, 2002; Lehmann, Baumgartl, Wiesenack, Seidel, Baumann, Fischer, Spöri, Gendrisch, Kaminski & Keul, 1992; Lehmann et al., 1991; Lehmann, Knizia, Gastmann, Petersen, Khalaf, Bauer, Kerp & Keul, 1993; Rietjens, Kuipers, Adam, Saris, van Breda, van Hamont & Keizer, 2005; Steinacker, Lormes, Kellmann, Liu, Reißnecker, Opitz-Gress, Baller, Guenther, Petersen, Kallus, Lehmann & Altenburg, 2000). Neben der Kurzzeitigkeit vieler Trainingsinterventionen mögen hierbei auch die oft geringen Teilnehmerzahlen eine Rolle gespielt haben. In Frage gestellt wird häufig die Motivation und Unterstützung seitens der Sportler: Je ambitionierter diese trainieren, desto weniger gewillt dürften sie sein, sich einem Fehltraining mit „kaum kalkulierbaren Konsequenzen für die mittelbare Leistungsentwicklung“ (Urhausen & Kindermann, 2000, S. 227) auszusetzen. Da gesundheitliche Schädigungen für die Teilnehmer nicht auszuschließen sind, was für die häufig verwendeten nur mäßig trainierten Teilnehmer im Besonderen zutreffen dürfte, ist zudem ein ethischer Konflikt offensichtlich.

Rowbottom, Keast und Morton (cop. 1998) bezweifeln bei kurzfristigen Interventionen die Übertragbarkeit der Ergebnisse in ein realistischeres Umfeld, in dem auch subtile Veränderungen eine Rolle spielen, die sich möglicherweise schleichend einstellen (vgl. Schmikli, Brink, de Vries & Backx, 2010; Vogel, 2001). Urhausen und Kindermann (2000) kritisieren die häufig fehlende Berücksichtigung nachfolgender Regenerationsphasen (vgl. Garcin et al., 2002; Hedelin, Kenttä, Wiklund, Bjerle & Henriksson-Larsén, 2000; Karvonen, 1992), welche die Grundlage für eine differenzierte begriffliche Einordnung von Ermüdungszuständen bildet.

Ein Vorhaben, über Interventionen gezielt ein Übertrainingssyndrom hervorzurufen, dürfte somit zumindest als fragwürdig erscheinen (vgl. Meeusen, Duclos, Gleeson, Rietjens G., Steinacker & Urhausen, 2006; Vogel, 2001). Häufig zu finden sind bei experimentellen Ansätzen allerdings kurzzeitige Leistungsminderungen mit zeitlich verzögerten Anpassungserscheinungen nach einigen Tagen Regenerationszeit (Coutts, Reaburn, Piva & Rowsell, 2007; Coutts, Wallace & Slatery, 2007; Halson, Lancaster, Jeukendrup & Gleeson, 2003; Jeukendrup, Hesselink, Snyder, Kuipers & Keizer, 1992).

Auch längerfristige, über einen Zeitraum von 5,5 bis 19 Monaten angelegte Beobachtungsstudien konnten die Entstehung von Übertrainingssyndromen bei intensiv trainierenden Athleten mittels unterschiedlicher Beobachtungsverfahren nicht hinreichend dokumentieren. Dies mag daran liegen, dass Sportler gleich mehrere Warnsignale überhören müssen, um während einer Trainingsphase tatsächlich dauerhaft überbelastet zu sein und somit ein Übertrainingssyndrom zu entwickeln. Nur engmaschig durchgeführte sportartspezifische Leistungsdiagnostiken können



zudem Leistungsminderungen und deren zeitlichen Verlauf so darstellen, dass aussagekräftige Rückschlüsse auf die Zusammenhänge mit zu hohen vorausgegangenen Trainings- oder Wettkampfbelastungen möglich sind. Weiterhin ist es erforderlich, alternative Faktoren ausschließen zu können, welche Leistungsminderungen ursächlich bedingen könnten. Diese Voraussetzungen sind jedoch gerade bei längerfristigen Studiendesigns häufig nicht gegeben (vgl. Hooper, Mackinnon, Howard, Gordon & Bachmann, 1995; Urhausen, Gabriel, Weiler & Kindermann, 1998; Vogel, Marti, Birrer, Held, Seiler & Hoppeler, 2001), vorliegende Diagnosen und Einschätzungen sind daher kritisch zu hinterfragen.

Es bleibt festzuhalten, dass als normal zu bezeichnende ermüdungsbedingte physiologische bzw. psychologische Parameterveränderungen im Zusammenhang mit intensivierten Trainings- oder Wettkampfphasen nur dann von solchen Veränderungen zu unterscheiden sind, die als Vorboten oder Begleiterscheinungen eines Übertrainingssyndroms zu werten sind, wenn neben einer ausreichenden Anzahl an Leistungsdiagnostiken eine genügend intensive und lange Belastungsphase sowie eine hinreichend lange nachfolgende Regenerationsphase gewährleistet sind. Hier jedoch sind allen Untersuchungen ethische Grenzen auferlegt – auch solchen, die es sich zum Ziel gemacht haben, jene Sportler zu untersuchen, die nachweisbar an einem Übertrainingssyndrom leiden. Studien dieser Art sind aufgrund der selten anzutreffenden eindeutigen Diagnosen die Ausnahme (vgl. Hedelin, Wiklund, Bjerle & Henriksson-Larsén, 2000; Hynynen, Uusitalo, Konttinen & Rusko, 2008; Meeusen, Nederhof, Buyse, Roelands, de Schutter & Piacentini, 2008).

Vor dem Hintergrund der beschriebenen Problematik überrascht es, überhaupt Angaben über die Häufigkeit des Auftretens von Symptomen, die einem Zuviel an sportlichem Training zugeschrieben werden – und damit einem Übertrainingssyndrom entsprechen könnten –, zu finden. Die wenigen genannten Zahlen (dargestellt in Abbildung 1) zeigen jedoch kaum Übereinstimmung. Oft erwähnt wird die Einschätzung von Morgan, Brown, Raglin, O'Connor und Ellickson (1987, S. 107) über Spitzenläufer im Ausdauerbereich: "64 % of the female and 66 % of the male athletes who were studied had experienced staleness at some point during their competitive careers".

Weitere Angaben resultieren aus Befragungen, allgemeinen Schätzungen oder längerfristigen Untersuchungen (vgl. Hooper, Mackinnon, Howard, Gordon & Bachmann, 1995; Koutedakis & Sharp, 1998; O'Connor, Morgan, Raglin, Barksdale & Kalin, 1989). Aufgrund der Unterschiedlichkeit der beobachteten oder befragten Sportler sowie der vielfältigen Untersuchungsdesigns und Sportarten lassen die im Weiteren dargelegten Zahlen nur sehr grobe Vermutungen darüber zu, wie verbreitet mögliche Übertrainingssyndrome und deren Erscheinungsformen tatsächlich sind.

Kenttä et al. (2001) befragten 272 junge Sportlerinnen und Sportler zwischen 16 und 20 Jahren nach einer signifikanten Leistungsminderung in ihrer bisherigen Karriere, die mindestens zwei Wochen angehalten habe und zweifelsfrei einem Zuviel an Training zuzuschreiben sei. 37 % der Sportlerinnen und Sportler gaben an, dass sie mindestens einmal in ihrer Karriere 'staleness' – also ein Übertrainingssyndrom – erlebt hätten. Rückblickend auf dieses Erlebnis nannten sie Stimmungsbeeinträchtigungen, ein subjektiv wahrgenommenes erhöhtes Anstrengungsempfinden und das Gefühl schwerer Muskeln als begleitende Symptome.

Hooper et al. (1995) berichten davon, dass 21 % der Schwimmer der australischen Jugendnationalmannschaft während einer sechsmonatigen Saisonphase Merkmale eines Übertrainingssyndroms zeigten. Morgan et al. (1987) vermuten unter Berücksichtigung zehnjähriger

Untersuchungen mit Leistungsschwimmern, dass schätzungsweise 5–10 % dieser in Phasen hochintensiven Trainings Symptome eines Übertrainingssyndroms ('staleness') entwickelten.

Auch O'Connor et al. (1989) nennen Angaben von 21 %, bezogen allerdings auf lediglich 14 Leistungsschwimmerinnen, die über ein halbes Jahr beobachtet wurden. Lehmann, Schnee, Scheu, Stockhausen und Bachl (1992) konnten hormonelle Veränderungen und verminderte Leistungen bei einem Ergometertest an 56 % semiprofessioneller Fußballspieler vier Monate nach Saisonbeginn nachweisen und gehen infolgedessen von einer Dysbalance zwischen Trainings- und Wettkampfbelastungen und erforderlicher Regenerationszeit bei den betreffenden Sportlern aus.

Raglin, Sawamura, Alexiou, Hassmen und Kenttä (2000) befragten 231 jugendliche Leistungsschwimmer unterschiedlicher Nationen. 35 % gaben an, ein Übertrainingssyndrom bereits mindestens einmal in ihrer Karriere erlebt zu haben. Ähnliche Ergebnisse veröffentlichten Koutedakis und Sharp (1998) sowie Matos, Winsley und Williams (im Druck). Erstere untersuchten 257 Leistungssportler und Olympiateilnehmer unterschiedlicher Sportarten über einen Zeitraum von zwölf Monaten. Die Autoren kamen zu dem Ergebnis, dass während intensiver Wettkampfphasen 15 % der Sportlerinnen und 35 % der Sportler aufgrund ungeplanter Leistungsminderungen und anhaltender Müdigkeit phasenweise „übertrainiert“ waren. Die Leistungsminderungen traten unabhängig von der Art der ausgeübten Sportart auf und waren während Vorbereitungsphasen mit geringerer Wettkampfdichte seltener. Matos et al. (ebenda) befragten 376 jugendliche Sportler unterschiedlicher Disziplinen mittels Fragebögen und fanden eine ähnliche Prävalenz von Überbelastungen (29 %), die sie an anhaltenden Müdigkeitssymptomen und einer langfristigen Leistungsminderung festmachten. Die Autoren fanden ein höheres Vorkommen in Individualsportarten, bei Frauen sowie auf höchster Leistungsebene.

Ebenso mittels Fragebogenerhebungen konnten Gould, Greenleaf, Guinan, Medbery, Strickland, Lauer, Chung und Peterson (1998) zeigen, dass 84 von 286 Teilnehmern der Olympiateilnehmer von Atlanta 1996 (28 %) der Meinung waren, dass ihre erzielten Leistungen aufgrund von Übertraining negativ beeinträchtigt gewesen seien.

Silva (1990) fand bei 68 Studenten unterschiedlicher Sportarten Angaben in Bezug auf das Vorkommen von „Übertraining“ bzw. Übertrainingssyndromen in deren bisheriger Karriere in Höhe von 66 bzw. 73 %, wobei die Teilnehmer der Studie die Symptome der abgefragten Phänome selbst beschrieben.

MacKinnon (2000), der recht allgemein schätzt, dass etwa 7–20 % (vgl. Raglin & Barzdukas, 1999: 10–20 %) intensiv trainierender Sportler Symptome eines Übertrainingssyndroms zeigten, vermutet die größte Häufigkeit in Ausdauersportarten, die einen hohen Belastungsumfang erfordern.

Tabelle 1. bietet eine Übersicht der Angaben über das Auftreten möglicher Überbelastungen bzw. Übertrainingssyndrome bei Sportlern.

*Tab. 1: Geschätzte Häufigkeit von Erscheinungsformen eines Übertrainingssyndroms in unterschiedlichen Sportarten.*

<b>Autoren</b>	<b>Anzahl der Sportler/Sportart</b>	<b>Beobachtungsdauer</b>	<b>%</b>
Gould et al. (1998)	296 Olympiateilnehmer	Befragung	28
Hooper et al. (1995)	19 jugendliche Leistungsschwimmer der australischen Nationalmannschaft	6 Monate	21
Kenttä et al. (2001)	272 junge Nachwuchssportlerinnen und Nachwuchssportler unterschiedlicher Disziplinen	Befragung	37
Koutedakis & Sharp (1998)	257 Leistungssportler unterschiedlicher Sportarten	12 Monate	15–35
Lehmann, Schnee et al. (1992)	16 semiprofessionelle Fußballspieler	ca. sechs Monate	56
Matos et al. (in Druck)	376 junge englische Sportlerinnen und Sportler unterschiedlicher Disziplinen	Befragung	29
Morgan et al. (1987)	400 Leistungsschwimmerinnen und Leistungsschwimmer	10 Jahre	5–10
Morgan et al. (1987)	keine Angaben	Befragung	64–66
O'Connor et al. (1989)	14 Leistungsschwimmerinnen	5,5 Monate	21
Raglin et al. (2000)	231 jugendliche Schwimmer	Befragung	35
Silva (1990)	68 Studenten unterschiedlicher Sportarten	Befragung	66–73

Aufgrund fehlender eindeutiger diagnostischer Parameter und unterschiedlicher Studiendesigns sind die genannten Zahlen wenig repräsentativ und es ist daher nicht seriös abschätzbar, ob tatsächlich Überbelastungen oder Übertrainingssyndrome vorlagen. Dennoch lassen die angeführten Untersuchungen die Vermutung zu, dass es sich um ein verbreitetes Problem sowohl im Leistungssport als auch im ambitionierten Freizeitsport handelt. Reichlich unpräzise, aber wohl auch heute noch wahr dürfte daher folgende Vermutung von Hollander et al. (1995, S. 4) sein: "Today, overtraining is fairly common among adult athletes". Dies sollte im Besonderen für hoch motivierte und intensiv trainierende Sportler gelten (Gleeson, 1998; Hollander et al., 1995), im Besonderen wenn sie ihr Training eigenständig planen und mit weiteren, meist beruflichen Stressoren verknüpfen müssen (Hendrickson & Verde, 1994; Lehmann, Foster, Netzer, Lormes, Steinacker, Liu, Opitz-Gress & Gastmann, cop. 1998; Morgan et al., 1987).

Besondere Gefahren im Hinblick auf das Auftreten von Überbelastungen und Übertrainings-syndromen, aber auch im Hinblick auf die Entstehung funktioneller Überlastungen, birgt der Extremsport – speziell der Ultralangstreckenlauf (vgl. MacKinnon, 2000; Sims, 2001). Seit Mitte der 1980er Jahre ist in dieser Sportart der Trend zu beobachten, Leistungssteigerungen über immer höhere Belastungsumfänge zu erreichen. Die anspruchsvollsten Extrembelastungen in diesem Bereich umfassen mittlerweile mehrwöchige Läufe von mehr als 5.000 km Länge, was einer 120fachen Vervielfachung der Marathondistanz entspricht. Die Bewältigung dieser Extrembelastungen geht an die Grenzen menschlicher Leistungsfähigkeit und darüber hinaus. Dies trifft auf die mentalen Anforderungen ebenso zu wie auf die Belastungen des Stütz- und Bewegungsapparates und des Herz-Kreislauf-Systems (Neumann & Berbalk, 2000).

Die monotone Belastungsform und der extrem hohe Belastungsumfang in Verbindung mit kurzen Regenerationsphasen machen den Ultralangstreckenlauf zu einem geeigneten Forschungsgebiet zum thematischen Aspekt der Überbelastung und des Übertrainingsyndroms. Es erschließen sich Belastungssituationen, deren Planung und Durchführung mittels experimenteller Designs nur als absurd, gefährlich und unethisch zu bezeichnen wären.

Entwickelt wurde daher eine Feldstudie, in der Extremsportler sowohl während einer normalen Trainingsphase als auch während eines 17-tägigen Ultralangstreckenlaufs (Deutschlandlauf) und einer anschließenden Regenerationsphase untersucht wurden. Zum Einsatz kam eine Kombination ausgewählter, bereits verwendeter Diagnoseparameter, die im Feldsetting individuell und nicht-invasiv einsetzbar sind und deren Anpassungsreaktionen ab einem individuell festzulegenden Grad als Warnzeichen für die Entstehung von Überbelastungen und Übertrainings-syndromen gelten. Ziel der Studie war es, auftretende Parameterveränderungen vor dem Hintergrund äußerer Belastungsanforderungen einzelfallbezogen auszuwerten und im Hinblick auf ihre mögliche diagnostische Relevanz zu diskutieren. Nach Urhausen und Kindermann (2000) ist davon auszugehen, dass die genannten Auffälligkeiten der untersuchten Parameter bereits vor einem möglichen Leistungsabfall auftreten und als mögliche Frühwarnsymptome dienen können. Vogel et al. (2001) argumentieren, dass der individuelle Vergleich verschiedener Parameterverläufe Rückschlüsse auf den Belastungs-Erholungs-Zustand erlaubt (vgl. Hendrickson & Verde, 1994), und sehen

„den vielversprechendsten Weg im Hinblick auf Trainingsmonitoring und Früherkennung von Überbelastungen in einer noch sorgfältigeren Suche nach dem individuellen Verhalten derjenigen Parameter, welche in der Übertrainingsgenese systemisch involviert sind“ (Vogel et al., 2001, S. 171).

Die Interpretation der Daten sollte daher vor dem Hintergrund persönlicher Referenzwerte, sogenannter Baselines, erfolgen (vgl. Jugde & Potteiger, 2000).

Es erscheint abschließend behauptet zwar schwierig, aber nicht aussichtslos, unter realistischen Bedingungen ein Phänomen zu untersuchen, das weder operationalisiert noch ausreichend exakt definiert ist und dessen Symptome nach bisherigem Kenntnisstand nicht einheitlich nachgewiesen werden konnten. Die Widersprüchlichkeit bisheriger Studienergebnisse lässt vermuten, dass neben einer individuell unterschiedlichen Empfindlichkeit der Sportler auch die Art und vor allem die Dauer des vorangegangenen Fehltrainings eine Rolle spielen dürfte. Um vergleichbare

Ergebnisse zu produzieren, müssten identische und möglicherweise sportartspezifische Studiendesigns Verwendung finden. Gerade dies ist bisher nicht der Fall, „der wesentliche Faktor für das Entstehen eines Übertrainingssyndroms, der Belastungs- oder Trainingsprozess selber, wurde bisher kaum systematisch analysiert“ (Urhausen & Kindermann, 2000, S. 227; vgl. Noakes, 2000).

## 2 Theoretische Grundlagen

### 2.1 Begriffsbestimmung Übertraining

Trotz einer Zunahme wissenschaftlicher Forschung zum Themengebiet des Übertrainings in den 1990er Jahren gibt es noch immer eine verwirrende Vielzahl unterschiedlicher Definitionen, die dessen Erscheinungsformen zu beschreiben versuchen. Raglin und Barzdukas (1999) sowie Meeusen et al. (2006) versuchten daher in ihren Arbeiten, Vorschläge zur Vereinheitlichung der Nomenklatur zu machen.

Unter dem Begriff „Übertraining“ wird in der sportwissenschaftlichen Literatur ein gezielt bzw. bewusst erhöhtes Trainingsvolumen beschrieben, das sowohl positive als auch negative Anpassungserscheinungen zur Folge haben kann. Gleichzeitig wird unter Übertraining ein dem Trainingsprozess nachgeschalteter, eingeplanter oder ungewollter (Ermüdungs-)Zustand verstanden, der nach Adams und Kirkby (2001) kurz- oder langfristiger Natur sein kann.

Israel (1976, S. 1) definiert Übertraining als

„eine über längere Zeit andauernde Leistungsminderung oder Leistungsstagnation in der sportlichen Spezialdisziplin infolge eines chronischen Missverhältnisses zwischen Leistungsanforderungen und Leistungsfähigkeit“.

Morgan et al. (1987) verweisen auf oben genannten Unterschied und differenzieren zwischen Übertraining als Prozess der Überlastung ('overtraining') und dem aus der Überlastung entstehenden Zustand ('staleness').

Neben 'overtraining' werden in diesem Zusammenhang oftmals auch Begriffe wie 'overload training/principle' (Fry, Morton & Keast, 1991; Raglin & Barzdukas, 1999), 'overreaching' (Kuipers, 1998; Steinacker et al., 2000), 'supercompensation training' (vgl. Vogel, 2001) oder 'functional overreaching' (Meeusen et al., 2006) verwendet, im Deutschen 'Kurzzeitübertraining', 'Überziehen' (Lehmann, Baur, Buck, Gastmann, Lehmann, Liu, Lormes, Opitz-Gress, Reissnecker, Simsch & Steinacker, 1999; Lehmann et al., 1998) oder Superkompensationstraining (Vogel, 2001). Gemein ist diesen Begriffen, dass sie für die Beschreibung von Trainingsprozessen benutzt werden, die eine geplante Steigerung von Belastungsintensität und/oder -umfang beinhalten.

Statt 'staleness' werden häufig Bezeichnungen wie 'long-term overtraining' (Lehmann et al., cop. 1998; Lehmann et al., 1998), 'overreaching' (O'Toole, cop. 1998) oder 'overtraining syndrome' (Fry et al., 1991; Hooper et al., 1995; Lehmann et al., cop. 1998; Raglin & Barzdukas, 1999) genannt, vereinzelt jedoch auch 'overtraining' (Gleeson, 1998), um erwähnten Ermüdungszustand zu beschreiben. Im Deutschen finden sich Bezeichnungen wie 'Übertrainingssyndrom' (Israel, 1976; Urhausen & Kindermann, 2000, 2002a), 'Überlastungszustand' (Urhausen & Kindermann, 2000) oder 'Überbelastung' (Vogel, 2001). Vogel (ebenda) führt noch weitere existierende Mischformen genannter Begriffe an.

Einige Autoren inkludieren sowohl Prozess als auch Zustand in ihren Definitionen und verwenden Übertraining eher als einen Überbegriff (vgl. MacKinnon, 2000):

“Overtraining. An accumulation of training or non-training stress resulting in long-term decrement in performance capacity with or without related physiological and psychological signs and symptoms of overtraining in which restoration of performance capacity may take several weeks or months” (Kreider, Fry & O'Toole, cop. 1998, S. viii).

Auch wenn eine Differenzierung zwischen (Trainings-)Prozess und (Ermüdungs-)Zustand auf den ersten Blick künstlich erscheint, da beide Aspekte in der sportlichen Praxis eng miteinander verknüpft sind, ist sie vor dem Hintergrund der bisher uneinheitlichen und bisweilen zu ungenauen Begriffsbestimmung unumgänglich. Es existieren schlichtweg zu viele unterschiedliche Vorstellungen darüber, was unter Übertraining und einer Reihe anderer in diesem Zusammenhang verwendeter Bezeichnungen genau zu verstehen ist.

Meeusen et al. (2006) verfassten daher ein Positionspapier (ECSS Position Statement 'Task Force') mit dem Ziel der Vereinheitlichung der Nomenklatur im Bereich des Übertrainings. Mit derselben Intention verfassten Raglin und Barzdukas (1999) in Kooperation mit der USOC/ACSM (United States Olympic Committee/American College of Sports Medicine) eine Arbeit.

Letztgenannte Autoren bezeichnen einen bewusst geplanten und systematisch erhöhten Trainingsreiz mit nachfolgender kurzfristiger Ermüdung und einer zeitlich verzögerten positiven Anpassung der Leistungsfähigkeit als ein 'overload (training)', Meeusen et al. (2006) als 'functional overreaching'. Vogel (2001) benennt das deutsche Pendant dazu als 'Superkompensations-training', da dieser Term sowohl Geplantheit als auch Ziel der Trainingsmethode impliziere. Auf ein gesteigertes Trainingspensum folgt eine Tapering- oder Regenerationsphase, mit dem Ziel der größtmöglichen Adaptation des Körpers an den spezifischen Trainingsreiz. Die bewusst herbeigeführte Ermüdung kann dabei mehrere Tage andauern, nach Meeusen et al. (2006) sogar einige Wochen.

Raglin und Barzdukas (1999) unterscheiden weiterhin zwei Formen eines Zustands, der Ausdruck einer systemischen Erschöpfung darstellt, nämlich die Überbelastung ('overreaching') und das Übertrainingssyndrom ('overtraining syndrome', 'staleness') (vgl. Vogel, 2001). Die Überbelastung unterscheidet sich vom vorübergehenden Ermüdungszustand, der bewusst durch ein Superkompensationstraining hervorgerufen wurde, dadurch, dass ein Leistungseinbruch ungewollterweise oder länger als geplant auftritt (Jeukendrup et al., 1992). Möglicherweise um genau dies zu verdeutlichen, verwenden Meeusen et al. (2006) statt 'overreaching' hier den Term 'non-functional overreaching'.

Die Leistungsminderung beim 'overreaching' oder 'non-functional overreaching' ist reversibel, „das Erreichen einer Superkompensation noch möglich“ (Vogel, 2001, S. 156; vgl. Fry et al., 1991; Meeusen et al., 2006), auch wenn Moore und Fry (2007) dies ausschließen. Unmissverständlicher wäre es hier allerdings, statt von einer Superkompensation von einer verzögert eintretenden Leistungsanpassung zu sprechen, um begrifflich eindeutig zwischen intendierter und nicht intendierter Dauer einer Ermüdung zu unterscheiden.

Kenttä und Hassmén (1998) gehen bereits bei einer länger als 72 Stunden andauernden Leistungsminderung von einer Überbelastung aus, Vogel (2001) nennt einen zeitlichen Rahmen von wenigen Tagen bis höchstens zwei bis drei Wochen, die eine als Überbelastung bzw. 'overreaching' zu bezeichnende Leistungsminderung andauern kann. Gleiche Angaben finden sich bei Urhausen und Kindermann (2000, 2002a), Raglin und Barzdukas (1999) vermuten wenige Tage bis ein bis zwei Wochen. Diese Einschätzung deckt sich mit den Ausführungen von Halson, Bridge, Meeusen, Busschaert, Gleeson, Jones und Jeukendrup (2002), Halson und Jeukendrup (2004), Jeukendrup et al. (1992), Lehmann et al. (1998) sowie Nederhof, Lemmink, Zwerver und Mulder (2007).

Kreider et al. (cop. 1998) beziehen in ihrer Definition einer Überbelastung neben Trainings- einflüssen auch weitere Stress- und Belastungsfaktoren mit ein (vgl. Kayser & Gremion, 2004) und verweisen darauf, dass das Auftreten physiologischer bzw. psychologischer Symptome auch ausbleiben kann (vgl. Angeli, Minetto, Dovo & Paccotti, 2004):

“Overreaching. An accumulation of training and non-training stress resulting in a short-term decrement in performance capacity with or without related physiological and psychological signs and symptoms of overtraining in which restoration of performance capacity may take from several days to several weeks” (Kreider et al, cop. 1998, S. viii).

Nach Meeusen et al. (2006) treten – und hier widersprechen die Autoren Angeli et al. (2004) sowie Kreider et al. (cop. 1998) – bei einem ‘non-functional overreaching’, im Gegensatz zum ‘functional overreaching’ oder ‘overload (training)’, zwangsläufig qualitative Veränderungen auf, also Symptome, die physiologischen und psychologischen Stress anzeigen. Das Ausbleiben vor allem psychologischer Symptome halten auch andere Autoren für unwahrscheinlich (vgl. Halson & Jeukendrup, 2004).

Anzumerken bleibt in diesem Zusammenhang, dass es selbst bei einem ‘functional overreaching’ nachweislich zu physiologischen bzw. psychologischen Parameterveränderungen kommen kann, die sich von den Normwerten der Sportler während weniger intensiver Trainingsphasen unterscheiden (Angeli et al., 2004; Coutts, Reaburn et al., 2007; Hedelin, Kenttä et al., 2000; Jeukendrup et al., 1992). Die von Meeusen et al. (2006) vorgenommene symptombezogene Unterscheidung bleibt also fragwürdig.

Weitgehende Einigkeit besteht darin, dass bei der Ausbildung einer Überbelastung mit hoher Wahrscheinlichkeit auch Stressfaktoren außerhalb des Trainings eine Rolle spielen, womöglich sogar eine entscheidende (vgl. Budgett, 1998; Lehmann et al., cop. 1998; Lehmann et al., 1999; Meeusen et al., 2006; Nimmo & Ekblom, 2007; Rietjens et al., 2005; Urhausen & Kindermann, 2000, 2002a; Vogel, 2001; Zaryski & Smith, 2005). Auch Israel (1976) betont, dass eine Überbelastung nur in seltenen Fällen einem Zuviel an sportlicher Belastung zugeschrieben werden kann und das sportliche Training nur ein Faktor bei dessen Entstehung sei. Vernacchia (1997) nennt bestimmte Motivationsmuster als mögliche Einflussfaktoren bei dessen Entstehung, Untersuchungen von Lemyre, Roberts und Stray-Gundersen (2007) konnten den Einfluss motivationaler Faktoren bei der Genese von Überbelastungen bestätigen. Voigt (1990) verweist auf den Einfluss individueller genetischer Voraussetzungen sowie die Anzahl der Gesamttrainingsjahre eines Sportlers.

Eine länger andauernde Überbelastung kann zum Übertrainingssyndrom und damit zum „Zusammenbruch des Systems“ führen, Vogel (2001, S. 157; vgl. Lehmann et al., 1998) spricht von einem „Symptomkomplex mit Krankheitswert“. Wie lange eine unbehandelte oder auch behandelte Überbelastung (‘overreaching’) andauern muss, damit sich daraus ein Übertrainings-syndrom (‘overtraining syndrome’) ausbilden kann, bleibt unklar. Während Lehmann, Foster und Keul (1993) einen zeitlichen Rahmen von zwei Wochen nennen (vgl. Baumert, Brechtel, Lock, Hermsdorf, Wolff, Baier & Voss, 2006; Budgett, 1998; González-Boto, Salguero, Tuero, González-Gallego & Márquez, 2008; Halson et al., 2002; Jeukendrup et al., 1992; Kreider et al., cop. 1998;



Lehmann et al., cop. 1998; Raglin & Barzdukas, 1999; Steinacker et al., 2000; Urhausen & Kindermann, 2002a), gehen Rietjens et al. (2005, S. 17) von einem längeren Zeitraum aus:

“It is now generally accepted that a state of overreaching which holds on for 3-6 weeks, despite training reduction precedes the full blown overtraining syndrome”.

MacKinnon (2000) argumentiert allgemein, dass es eines länger als vier Wochen andauernden intensiven Trainings bedürfe, um ein Übertrainingssyndrom auszubilden, Lehmann, Lormes, Opitz-Gress, Steinacker, Netzer, Foster und Gastmann (1997) und Lehmann et al. (cop. 1998) nennen einen zeitlichen Umfang von 3 Stunden täglichen Trainings über einen Zeitraum von mindestens 3 Wochen als Voraussetzung für die Entwicklung eines Übertrainingssyndroms bei gut trainierten Ausdauersportlern.

Weitere für einen solchen Zustand verwendete Begriffe sind 'long-term overtraining' (Lehmann et al., 1998; Lehmann, 1999) oder 'staleness' (Fry et al., 1991; Hollander et al., 1995; Hooper et al., 1995), aufgrund der multifaktoriellen Auslöser findet sich vereinzelt der Begriff 'unexplained under-performance syndrome' (Budgett, Newsholme, Lehmann, Sharp, Jones, Peto, Collins, Nerurkar & White, 2000). Der Erschöpfungszustand ist so gravierend, dass eine Leistungsminderung eintritt und eine verzögerte Trainingsadaptation nicht mehr möglich ist: „Der dekompenzierte Athlet braucht seine gesamte Energie, um sich von diesem Zusammenbruch, der einer eigentlichen Krankheit entspricht, zu erholen“ (Vogel, 2001, S. 157).

Zeitliche Angaben über die Dauer, die eine Erholung von diesem Zustand in Anspruch nehmen könnte, sind vage und reichen von zwei Wochen (Kayser & Gremion, 2004; Lehmann et al., 1999) bis mehrere Monate (Falsetti, Ryan, Burke & Burke, 1983; Kreider et al., cop. 1998; Kuipers & Keizer, 1988; MacKinnon, 2000; Purvis, Gonsalves & Deuster, 2010) oder gar Jahre (Halsen & Jeukendrup, 2004; Meeusen et al., 2006; Nederhof et al., 2007; Nederhof, Zwerver, Brink, Meeusen & Lemmink, 2008; Uusitalo, 2001).

Es ist davon auszugehen, dass sich die verursachte Erschöpfung systemisch auswirkt, häufig genannt werden begleitende Beeinträchtigungen der Befindlichkeit. Vergleiche mit Burnout, Depressionen oder chronischem Müdigkeitssyndrom sind daher häufig (Armstrong & VanHeest, 2002; Bottomley, 1989; Derman, Schwellnus, Lambert, Emms, Sinclair-Smith, Kirby & Noakes, 1997; Falsetti et al., 1983; Hendrickson & Verde, 1994; Karvonen, 1992; Kenttä & Hassmén, 1998; Morgan et al., 1987; Pearce, 2002; Purvis et al., 2010; Veale, 1991; Uusitalo, 2001, Vernacchia, 1997; Ziemainz, Abu-Omar, Raedeke & Krause, 2004), wobei Letzteres einen länger als sechs Monate andauernden Müdigkeitszustand beschreibt, der das tägliche Aktivitätsniveau um mindestens 50 % einschränkt (Holmes, Kaplan, Gantz, Komaroff, Schonberger, Straus, Jones, Dubois, Cunningham-Rundles & Pahwa, 1988).

Da nach Raedeke und Smith (2001) ein Burnout verstärkt mit motivationalen Beeinträchtigungen einhergeht und es häufig neben einer physischen und emotionalen Erschöpfung zu einer Abwertung der ausgeübten sportlichen Tätigkeit und einem verminderten Leistungsstreben kommt (vgl. Lemyre et al., 2007; Ziemainz et al., 2004), ist oben genannter Vergleich auf den ersten Blick widersprüchlich, schließlich zeigen sich gerade hoch motivierte Athleten besonders gefährdet (Fry et al., 1991; Hendrickson & Verde, 1994; Lehmann et al., cop. 1998; Lemyre et al., 2007; Morgan et al., 1987). Dennoch ist nicht auszuschließen, dass es sich beim Übertrainingssyndrom, Burnout und chronischen Müdigkeitssyndrom um einen Erschöpfungszustand als

„eine Art gemeinsamen Endpunkt eines relativ zu seinen individuellen Kapazitäten übermäßig belasteten Menschen“ handelt, „unabhängig davon, ob (absolut oder relativ) zu wenig erholt oder (absolut oder relativ) zu stark belastet wurde, und unabhängig von der Art der Belastung“ (Vogel, 2001, S. 156).

Oft genannt wird in diesem Zusammenhang Selyes Stress-Modell, dessen “stage of exhaustion” (Selye, 1978) diesem Endpunkt entsprechen könnte (vgl. Meeusen, 1999). Fraglich erscheint nach Vogel (2001), ob die durch multifaktorielle Auslöser hervorgerufenen Formen der Ermüdung auch symptomatisch voneinander unterscheidbar sind.

In jedem Fall dürften sie einen Schutzmechanismus gegenüber weiteren Stresseinwirkungen darstellen (Voigt, 1990).

Erfolglos gestaltet sich die Suche nach einem Begriff für denjenigen Trainingsprozess, der einer Überbelastung bzw. einem Übertrainingssyndrom vorausgeht bzw. dieses ursächlich hervorruft. Der Qualitätsaspekt, der diesem Begriff eigen sein muss, ist, dass eine Fehlsteuerung des Trainings oder der Regenerationsphase vorgelegen haben muss (Lehmann et al., 1998). Meint Superkompensationstraining oder ‘overload (training)’ einen Trainingsprozess, der im erfolgreichen Fall zu einer in einem geplanten zeitlichen Rahmen eintretenden Leistungssteigerung führt, so bedarf es, um der Differenzierung gerecht zu werden, eines Begriffes, der eine fehlgeschlagene Leistungsadaptation aufgrund eines zu umfangreichen oder zu intensiven Trainings beschreibt, das möglicherweise externe Belastungsfaktoren nicht ausreichend berücksichtigt hat. Ein solcher Trainingsprozess wird im Folgenden als Fehlbelastung bezeichnet. Dieser Begriff soll verdeutlichen, dass fälschlicherweise eine zu hohe Trainingsbelastung vorlag bzw. nicht ausreichend lange regeneriert wurde, um die auf den Sportler einwirkende Gesamtbelastung tolerieren zu können bzw. die in einem vorgegebenen zeitlichen Rahmen intendierte Leistungsanpassung zu gewährleisten. Die in experimentellen Studien geplanten Trainingsinterventionen sollen mit der Bezeichnung Überlastung beschrieben werden.

Weiterhin soll in dieser Arbeit die von Raglin und Barzdukas (1999) vorgestellte Nomenklatur mit der Unterteilung Superkompensationstraining (‘overload training’), Überbelastung (‘overreaching’) und Übertrainingssyndrom (‘overtraining syndrome’ oder ‘staleness’) Verwendung finden (vgl. Vogel, 2001), wobei letztere beiden Begriffe aus Fehlbelastungen resultierende Ermüdungszustände beschreiben und sich die Begriffe Fehlbelastung, Überlastung oder Superkompensationstraining allesamt auf Trainingsprozesse beziehen.

Einen Überblick über die verwendeten Begrifflichkeiten gibt Tabelle 2.

Tab. 2: Verwendete Begrifflichkeiten zum Themengebiet „Übertraining“.

englischer Begriff	deutsches Synonym	Was darunter verstanden wird
<i>overtraining</i> (Morgan et al, 1997)	<i>Übertraining/Fehlbelastung/ Überlastung</i>	Prozess der Überlastung durch sportliches Training
<i>overload (training)/overload principle</i> (Fry et al., 1991; Meeusen et al., 2006; Raglin et al., 1999)	<i>Kurzzeitübertraining/ Überziehen</i> (Lehmann et al., 1998; Lehmann et al., 1999)	Prozess der Überlastung durch sportliches Training
<i>supercompensation training</i> (vgl. Vogel, 2001)	<i>Superkompensationstraining</i> (Vogel, 2001)	Prozess der Überlastung durch sportliches Training
<i>(functional) overreaching</i> (Kuipers, 1998; Meeusen et al., 2006; Steinacker et al., 2000;	<i>Kurzzeitübertraining/ Überziehen</i> (Lehmann et al., 1998; Lehmann et al., 1999)	Prozess der Überlastung durch sportliches Training
<i>overtraining</i> (Adams & Kirkby, 2001; Gleeson, 1998; Israel, 1976)	<i>Übertraining</i>	anhaltender Ermüdungszustand als Folge einer Überlastung
<i>staleness</i> (Fry et al., 1991; Hollander et al., 1995; Hooper et al., 1995; Morgan et al., 1987)	<i>Überlastungszustand</i> (Urhausen & Kindermann, 2000)	anhaltender Ermüdungszustand als Folge einer Überlastung
<i>long-term overtraining</i> (Lehmann et al., 1998; Lehmann et al., cop. 1998; Lehmann et al., 1999)	<i>Übertrainingssyndrom</i> (Israel, 1976; Urhausen & Kindermann, 2000, 2002a)	anhaltender Ermüdungszustand als Folge einer Überlastung
<i>(non-functional) overreaching</i> (Meeusen et al., 2006; O'Toole, 1998; Raglin et al., 1999)	<i>Überbelastung</i> (Vogel, 2001)	anhaltender Ermüdungszustand als Folge einer Überlastung
<i>overtraining syndrome</i> (Fry et al., 1991; Hooper et al., 1995; Lehmann et al., cop. 1998; Raglin et al., 1999)	<i>Übertrainingssyndrom</i> (Israel, 1976; Urhausen & Kindermann, 2000, 2002a; Vogel, 2001)	anhaltender Ermüdungszustand als Folge einer Überlastung
<i>unexplained underperformance syndrome</i> (Budgett et al., 2000)		anhaltender Ermüdungszustand als Folge einer Überlastung

## 2.2 Merkmale sportlichen Trainings

Sportliche Belastung führt unmittelbar zu einer biologischen Beanspruchung physiologischer Teilsysteme und damit zu einer Ermüdung bei ausreichend intensiv trainierenden Sportlern. Ermüdung wiederum kann als Ausgangspunkt für die Entstehung kurz- oder längerfristiger Leistungsminderungen angesehen werden. Damit gemeint ist ein verminderter sportlicher Leistungszustand, der sich „aus dem aktuellen Niveau personaler Leistungskomponenten (Einflussgrößen), deren Ausprägungsgrad sich im Ergebnis einer Aufgabenlösung zeigt“, ergibt (Martin, Carl & Lehnertz 1993, S. 26). Sportliches Training steht also am Beginn eines gedachten Kontinuums von Belastung, Beanspruchung, Ermüdung und Leistungsminderung. Es stellt bei der Entstehung von Überbelastungen und Übertrainingssyndromen eine notwendige Bedingung dar. Im Weiteren

werden daher zunächst grundlegende Aspekte sportlichen Trainings beschrieben, bevor dann näher auf die Komponenten Ermüdung und Leistungsminderung eingegangen wird.

Unter sportlichem Training verstehen Martin et al. (1993, S. 16)

„einen komplexen Handlungsprozess, der auf die planmäßige Entwicklung bestimmter sportlicher Leistungszustände und deren Präsentation in sportlichen Bewährungssituationen, speziell im sportlichen Wettkampf, ausgerichtet ist“.

Das Herbeiführen einer gesteigerten Leistungsfähigkeit hat seinen Ausgangspunkt in einer Störung der zellulären Homöostase. Es wird angenommen, dass die mit sportlicher Belastung einhergehenden funktionellen und energetischen Veränderungen physiologische Antwortreaktionen des Organismus initiieren (Kuipers, 1998). Es kommt zu einer zeitweiligen Herabsetzung der Funktionsfähigkeit des Organismus, in der folgenden Erholungsphase passen sich die Zellen eines Gewebes, Organe und der Gesamtorganismus so an, dass eine höhere Leistungsfähigkeit der Mehrbelastung entgegenwirkt.

Diese Anpassung führt jedoch nicht nur zu einer Wiederherstellung der Homöostase, sondern resultiert im Idealfall in einem verbesserten Leistungszustand – es kommt zu einer Superkompensation, dargestellt in Abbildung 1.

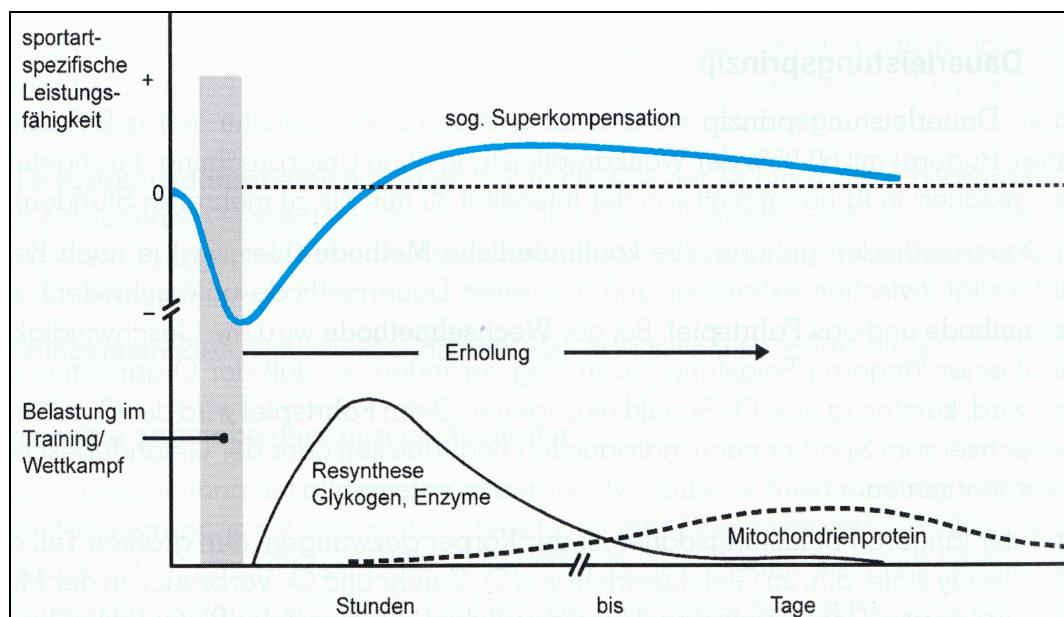


Abb. 1: Modell der Superkompensation (de Marées, 2003, S. 314)

Die Geschwindigkeit der Restitutionsvorgänge auf den verschiedenen physiologischen Ebenen sind jedoch komplex und unterschiedlich, somit kann das Modell der Superkompensation lediglich vereinfacht auf die sportartspezifische Leistungsfähigkeit, so sie eindeutig messbar ist, auf spezifische Teilaspekte dieser oder auf die Resynthese von Glykogen, Enzymen und Eiweißen bezogen werden.

Kuipers (1998) vermutet den höchsten Level einer Superkompensation, bezogen auf die sportliche Leistungsfähigkeit, als optimalen Zeitpunkt für nachfolgendes Training, um eine stetige Entwicklung des Leistungsvermögens zu erreichen. Eine im langfristigen Trainingsaufbau intendierte

Annäherung an die individuelle maximale Funktionskapazität, die physiologische Leistungsgrenze eines Sportlers, erfordert gezielt und dauerhaft zu steigernde Belastungsumfänge und -intensitäten. Es kommt im Idealfall zu einer Verringerung der Anpassungsreserve (Martin et al., 1993) des Sportlers, die jedoch nicht gleichmäßig verläuft, sondern permanenten Schwankungen unterliegt.

Häufig werden innerhalb periodisierter Trainingsphasen bewusst geplante Belastungsspitzen eingesetzt, die zu einer Überlagerung und Verstärkung der Superkompensationseffekte führen sollen. Es wird eine zeitweise andauernde Leistungsminderung von Sportlern in Kauf genommen, um verzögerte und verstärkte Trainingseffekte als Folge umfangreicher und intensiver Trainingsbelastungen nutzen zu können. Die individuell optimale Dosierung solcher Trainingsphasen mit der Folge maximal möglicher Leistungszuwächse stellt jedoch aufgrund geringer Kenntnisse über zeitliche Faktoren der Erholungs- und Anpassungsprozesse ein Hauptproblem für Trainer und Sportler dar (vgl. O'Toole, cop. 1998). Die Gefahr körperlicher Schädigungen und Überbelastungen ist in solchen Trainingsphasen besonders immanent.

### 2.2.1 *Training und Leistung*

Übertraining ist ein lange bekanntes Problemfeld der Sportwissenschaft, dennoch ist der quantitative Zusammenhang zwischen Training und Leistungsfähigkeit nicht ausreichend erforscht (Lehmann, Foster et al., 1993).

Kuipers (1998) beschreibt einen begrenzten und kaum definierbaren optimalen individuellen Trainingsbereich und einen umgekehrt U-förmigen Zusammenhang zwischen Trainingsbelastung und Leistungsniveau. Es besteht die Gefahr, diese individuelle Zone durch zu umfangreiches oder intensives Training oder mangelnde Regenerationszeiten zu überschreiten. Dass dies häufig ist, vermutet O'Toole (cop. 1998) und verweist auf Studien von Costill, Flynn, Kirwan, Houmard, Mitchell, Thomas und Park (1988) mit Schwimmern. Sie geht davon aus, dass in einigen Sportarten das durchgeführte Trainingsvolumen um etwa die Hälfte reduziert werden könnte, ohne dass dies negative Auswirkungen auf die Leistungsfähigkeit der Athleten habe. Orientiert man sich an den Untersuchungsergebnissen von Hooper et al. (1995), Kenttä et al. (2001), Lehmann, Schnee et al. (1992), Morgan et al. (1987), O'Connor et al. (1989), Raglin et al. (2000) sowie Ausführungen von Lehmann et al. (cop. 1998), trainieren viele Sportler tendenziell jedoch eher zu viel und gefährden damit neben sportlichen Zielen auch die eigene Gesundheit.

Berücksichtigt man, dass teilweise minimale Leistungsunterschiede von etwa 1 % – wie beispielsweise bei den Olympischen Spielen 1988 im Eisschnelllauf – über Goldmedaille oder einen undankbaren vierten Platz entscheiden können (Kuipers, 1998; vgl. Lehmann et al., 1998), so wird deutlich, wie entscheidend die Planung eines optimalen Trainingspensums mit ausreichender Erholung für die Wettkampfleistung eines Sportlers ist. Jedoch scheint dies ungleich schwieriger und komplexer zu realisieren:

“No model exists that can be used so that the overload training stimulus results in optimal improved performance while minimizing the potential to develop overreaching or the overtraining syndrome” (O'Toole, cop. 1998, S. 3).

### 2.2.2 Kritische Belastungsfaktoren

Es gibt eine Reihe von Faktoren, die das Auftreten einer Überbelastung bei Sportlern verursachen oder begünstigen können – Lehmann et al. (1998) sprechen daher allgemein von einem Stress-Regenerations-Missverhältnis, Urhausen und Kindermann (2000) von einem Ungleichgewicht zwischen Gesamt-Beanspruchung und Belastbarkeit. Nachfolgend genannt werden einige in diesem Zusammenhang häufig erwähnte Aspekte (vgl. MacKinnon, 2000; Raglin & Barzdukas, 1999):

- ein unausgewogenes Verhältnis von Trainingsbelastung und Regenerationsphasen
- eine allgemeine Trainingsmonotonie
- eine zu hohe Anzahl an Wettkämpfen
- psychosoziale Stressoren
- Umweltstressoren wie Höhenbelastungen, Training in Hitze
- Reisestrapazen
- eine unausgewogene Ernährung
- gesundheitliche Beeinträchtigungen

Theoretisch ist eine Vielzahl weiterer Stressoren außerhalb des Trainingskontextes denkbar, die Sportler beeinträchtigen und ursächlich an einer Überbelastung beteiligt sein könnten. Urhausen und Kindermann (2002a) schreiben diesen Stressoren eine wesentliche Bedeutung zu, sodass davon ausgegangen werden muss, dass sportliches Training allein wohl nur selten ein Übertrainingssyndrom auslösen dürfte (vgl. Kuipers, 1998; Rietjens et al., 2005).

Teilweise uneinheitliche Ansichten existieren über die Frage, welche Trainingsinhalte in besonderem Maße als kritisch einzuschätzen sind. Während Lehmann, Baumgartl et al. (1992) vor allem dauerhaft hohen Belastungsumfängen leistungsmindernde Wirkung zuschreiben (vgl. MacKinnon, 2000), sehen Budgett (1998) und Israel (1976) hohe Belastungsintensitäten als problematischer an. Budgett (ebenda) benennt explizit intensive Intervalltrainingseinheiten mit ein- bis sechsminütigen Belastungsphasen und kurzen Belastungspausen als problematisch.

Nach Urhausen und Kindermann (2002a) begünstigen vor allem innerhalb kurzer Zeit ansteigende sowie monoton hohe Belastungsumfänge, aber auch hohe Belastungsintensitäten mit anaerob-laktazider Energiebereitstellung die Entstehung einer Überbelastung bzw. eines Übertrainings-syndroms (vgl. Hooper et al., 1995; MacKinnon, 2000). Es erscheint nachvollziehbar, dass vor allem die Kombination beider Faktoren – hohe Belastungsintensität und hoher Belastungsumfang – über einen längeren Zeitraum zu dauerhaften Ermüdungserscheinungen führen kann (MacKinnon, 2000). Entscheidenden Einfluss auf die Tolerierbarkeit vor allem hoher Belastungsintensitäten dürfte zudem der Trainingszustand der Sportler haben.

Unabhängig von möglichen Auslösemechanismen bleibt oben genannte Unausgewogenheit zwischen Belastung und Regeneration der allgemein grundlegendste trainingsbezogene Aspekt bei der Entstehung einer Überbelastung oder eines Übertrainingssyndroms (Fry et al., 1991; vgl. Halson et al., 2002; Halson et al., 2003; Hooper et al., 1995; Lehmann et al. 1999; MacKinnon, 2000; Meeusen et al., 2006; O'Toole, cop. 1998).

## 2.3 Ermüdung

Da ein Übertrainingssyndrom als systemischer Erschöpfungszustand eine Folgeerscheinung dauerhafter Ermüdung ohne ausreichende Erholung darstellt, also Ausdruck einer „Summation von Ermüdungsresten“ (Höltke, 2003, S. 88) ist, stellt sich die Frage, welche physiologischen, biochemischen und psychologischen Mechanismen Ermüdung bedingen und infolgedessen sportliche Leistung limitieren. Die Darstellung dieser Faktoren erfolgt stark vereinfacht in Anlehnung an Noakes (2000), der mithilfe von sechs Modellen einen Überblick über diejenigen physiologischen und psychologischen Teilsysteme gibt, die allesamt auf unterschiedliche Art und Weise ermüdungsbedingte Anpassungserscheinungen zeigen und ursächlich an der Entstehung von Leistungsminderungen beteiligt sein könnten.

Von einer einzelnen Ursache für die Entstehung eines Übertrainingssyndroms auszugehen, wie dies viele vorherrschende Hypothesen tun, erscheint zweifelhaft (Vogel, 2001). Vielmehr ist zu erwarten, dass „die diversen Regelkreise [...] der psychischen und physischen Systeme [...] eng miteinander interagieren“ und nicht immer eindeutig ist, ob „einzelne Parameter innerhalb eines Regelkreises diesen in seiner Gesamtheit repräsentieren“ können (Vogel, 2001, S. 157).

Ermüdung entsteht nach intensiver und/oder lang anhaltender Arbeit, kommt in einem Absinken der Leistungsfähigkeit zum Ausdruck und ist als körperliche und psychische Prozesse umfassendes komplexes Geschehen reversibler Natur. Ihre Entstehungsweise ist abhängig von der Art der Belastung und kann sowohl zentralnervöse als auch muskuläre Prozesse betreffen (vgl. de Marées, 2003). Dosierte Ermüdung durch entsprechende Belastung und Wiederherstellung im Sinne einer Superkompensation stellt, wie bereits erwähnt, eine Voraussetzung zur Anpassung und Leistungssteigerung dar.

### 2.3.1 Kardiovaskuläre Prozesse

Es wird angenommen, dass maximale sportliche Leistungen im Ausdauerbereich durch eine nicht mehr ausreichende Sauerstoffversorgung der arbeitenden Muskulatur limitiert werden (vgl. Kasikcioglu, Oflaz, Oncul, Kayserilioglu, Umman & Nisanci, 2008). Dadurch kommt es zu einer Laktatanhäufung und durch eine Zunahme an Wasserstoffionen zu einer Übersäuerung im Muskel. Die Glykolyse läuft verlangsamt ab, Calciumionen werden vom Troponin verdrängt und beeinträchtigen den Kontraktionsvorgang (Klinke, Pape & Silbernagl, 2005). Die maximale Sauerstoffaufnahme (VO<sup>2</sup> max.) stellt möglicherweise den entscheidenden leistungslimitierenden Faktor bei Ausdauerbelastungen dar. Sie setzt sich zusammen aus der Pumpleistung des Herzens, dem maximalen Herzzeitvolumen und der effektiven Nutzung des Sauerstoffs durch die Muskulatur. Auf beiden Ebenen kann es zu Anpassungserscheinungen kommen – am Herz durch eine Muskelhypertrophie, die ein erhöhtes Schlagvolumen generiert, auf Muskelebene durch strukturelle und biochemische Veränderungen. Eine ausdauertrainierte Muskulatur weist neben einer verbesserten Kapillarisation eine gesteigerte Anzahl und Größe an Mitochondrien auf. Es zeigt sich eine erhöhte Aktivität der Enzyme, die an der aeroben Energiegewinnung beteiligt sind, ein erhöhtes Glykogendepot sowie ein erhöhter Myoglobingehalt (vgl. de Marées, 2003; Klinke et al., 2005).

Noakes (2000) sieht als ursächlich für den Abbruch einer Belastung jedoch nicht die muskuläre Sauerstoffschuld an, sondern einen zentralen Steuerungsmechanismus. Das Herz laufe bei einer maximalen Ausbelastung und einem damit einhergehenden Sauerstoffdefizit Gefahr, selbst nicht mehr genug Blut zur eigenen Versorgung zur Verfügung zu haben, und es bedürfe daher eines entsprechenden Schutzmechanismus, der die Pumpleistung des Herzens rechtzeitig reguliere und erniedrige, was letztendlich zu einer Übersäuerung der arbeitenden Muskulatur führe.

Der Autor widerspricht damit der weitläufigen Ansicht, dass die Übersäuerung im Muskel per se Ermüdung bewirkt, und weist darauf hin, dass Belastungen in Höhe auch dann erschöpfungsbedingt abgebrochen werden müssen, wenn die entsprechenden Laktatwerte niedrig sind, eine Übersäuerung der Muskulatur also nicht vorliegt. Zudem sprechen die höchst unterschiedlichen pH-Werte in den Muskelzellen, die von Sportlern toleriert werden können, dafür, dass der Beitrag einer Azidose in Bezug auf Ermüdung lediglich indirekter Natur sein kann (Noakes, 2000). Noakes (ebenda) weist darauf hin, dass Sportler eine unterschiedliche Ermüdungswiderstandsfähigkeit aufweisen und trotz identischer maximaler Sauerstoffaufnahme-fähigkeit konstante Belastungen mit vorgegebener Intensität unterschiedlich lange tolerieren können. Faktoren, die sich mit der maximalen Sauerstoffaufnahme-fähigkeit nicht erklären lassen, müssen also zusätzlich eine leistungs-limitierende Funktion besitzen.

Die von Noakes entworfene Hypothese einer zentralen Schutzhemmung deckt sich mit den bei Vogel (2001) dargelegten Ansichten von Mateeff (1957) und Wassiljew (1955).

### 2.3.2 Energiebereitstellung

Eine nicht mehr ausreichende Bereitstellung energiereicher Substrate stellt einen weiteren möglichen leistungs-limitierenden Faktor bei sportlicher Tätigkeit dar. Die Deckung des ATP (Adenosin-tri-phosphat)-Bedarfs der kontrahierenden Muskulatur muss genügend schnell (bei hoch-intensiven Belastungen) und genügend lange (bei lang andauernden Belastungen) gewährleistet werden (vgl. Noakes, 2000). Somit könnten sowohl ein Mangel an ATP in der Muskelzelle als auch eine Ausschöpfung der Energiespeicher, die eine ausreichende Resynthese des ATPs verhindert, Ermüdung bedingen (vgl. Nimmo & Ekblom, 2007).

Durch Ausdauertraining kommt es zu einer Anpassung der Kapazität der einzelnen Energiebereitstellungssysteme und zu erhöhten Glykogenspeichern. Es wird gemeinhin angenommen, dass bei länger als 2–3 Stunden andauernden Ausdauerbelastungen die Ausschöpfung der Glykogendepots direkt oder indirekt leistungs-limitierend wirkt (de Marées, 2003).

Im Zusammenhang mit Extrembelastungen wird eine reduzierte Glykogenkonzentration in der Muskulatur als mögliches Symptom, teilweise auch als Ursache einer Überbelastung angesehen (Vogel, 2001) und vielfach als Erklärung für reduzierte maximale und submaximale Laktatwerte im Zusammenhang mit erschöpfungsbedingten Leistungsminderungen herangezogen (Gleeson, 1998; Halson & Jeukendrup, 2004; Urhausen & Kindermann, 2002b).

So wiesen Costill et al. (1988) bei Schwimmern, die eine erhöhte Trainingsbelastung nicht tolerieren konnten, deutlich niedrigere Glykogenspeicher nach als bei ihren widerstandsfähigeren Kollegen. Jedoch zeigten Untersuchungen von Snyder, Kuipers, Cheng, Servais und Fransen (1995), dass auch mit optimal gefüllten Glykogenspeichern Leistungsminderungen und Symptome eines Übertrainingssyndroms auftreten können. Ähnlich äußern sich Urhausen und Kindermann



(2000), die ein Übertrainingssyndrom explizit nicht mit einem Glykogendefizit in Verbindung bringen.

Studien von Rauch, Hawley, Noakes und Dennis (1998) sowie O'Brien, Viguie, Mazzeo und Brooks (1993) lassen vermuten, dass Ausdauerbelastungen von bis zu sechs Stunden die Glykogenspeicher in Leber und Muskulatur zu nahezu 100 % entleeren, sportliche Belastungen bei Ultralangstreckenläufen überschreiten dieses Zeitlimit jedoch häufig. Als mögliche Erklärung dafür, warum eine Ausschöpfung der Glykogenvorräte nicht zwangsläufig zum Abbruch einer sportlichen Betätigung führen muss, werden die Verstoffwechslung der Glykogenspeicher der inaktiven Muskelzellen sowie eine vermehrte Verstoffwechslung von Fettsäuren oder Aminosäuren genannt (Rauch et al., 1998; vgl. Noakes, 2000, O'Brien et al., 1993). Noakes (2000) verweist auf weitere, bisher möglicherweise unbekannte Faktoren, die unabhängig von der Verfügbarkeit von Glykogen ursächlich verantwortlich für die Entstehung von Ermüdung sein könnten.

### 2.3.3 Zentrale Steuerungsprozesse

Zentrale Ermüdung meint die vorübergehende Herabsetzung zentralnervöser Vorgänge, die durch die integrativen Zentren des zentralen Nervensystems (sensorischer Kortex, Rückenmark, Kleinhirn, Motoneurone, motorische Endplatte) moduliert werden. Die neuronalen Impulse zur arbeitenden Muskulatur werden reduziert, es kommt zu einer langsameren Aktivierung der Muskelfasern und zu einer Reduzierung der Anzahl aktivierter Fasern (Anish, 2005; Noakes, 2000).

Ausgelöst wird dies nach Noakes (ebenda) durch eine Veränderung der Konzentration von Serotonin (5-HT) und möglicherweise anderen Neurotransmittern wie Dopamin und Acetylcholin im Gehirn (vgl. Anish, 2005; Meeusen, 1999; Meeusen, Watson, Hasegawa, Roelands & Piacentini, 2007). Diese durch intensive Belastungen induzierten Veränderungen können sich systemisch auf das neuroendokrinologische Milieu auswirken (Anish, 2005) und somit weitere mit Überbelastungen in Verbindung gebrachte Symptome erklären (Budgett, 1998).

Noakes (2000) argumentiert, dass diese reduzierte zentrale Aktivierung notwendig sein könnte, um den Organismus unter spezifischen Bedingungen zu schützen, indem sie myokardiale Blutarmut sowie die Entleerung der ATP-Reserven verhindert. Ermüdung wird demnach zentral moduliert, um einer totalen Ausschöpfung der Energiereserven vorzubeugen.

Diskutiert wird in diesem Zusammenhang jedoch auch eine Rückmeldung hemmender Reflexe aus der Muskelzelle an das zentrale Nervensystem. Somit könnten auch periphere Prozesse ursächlich für die dann folgende Impulsänderung der elektrischen Signale sein (vgl. Noakes, ebenda).

### 2.3.4 Autonomes Nervensystem

Ähnlich wie Noakes (2000) ordnet Israel (1976) dem zentralen und autonomen Nervensystem eine Art Beschützerrolle für die peripheren Zellen zu.

Funktionsstörungen des Vegetativums sind nach Israel (ebenda) und Fry et al. (1991) in vielen Fällen der biologische Ausgangspunkt symptomatischer Veränderungen im Zusammenhang mit Übertrainingssyndromen (vgl. Kindermann, 1986; Krause & Weiß, 2002; Kuipers & Keizer, 1988).

Tritt eine Diskrepanz zwischen Leistungsbeanspruchung und Leistungsfähigkeit ein, so kommt es zu Störungen in der Neurodynamik, d. h. zu Störungen in der Koordination der Erregungs- und Hemmungsprozesse der Hirnrinde. Überwiegen Letztere, könne dies als Ausdruck einer Überlastungs- oder Schutzhemmung gewertet werden, Israel (1976, S. 6) spricht weiter von einer „Zerrüttung der gesamten Nerventätigkeit“ bzw. einer „Neurose“ (vgl. Karvonen, 1992).

Auch Rietjens et al. (2005, S. 17) vermuten eine Beteiligung zentralnervöser und autonomer Prozesse bei der Entstehung von Übertrainingszuständen: “[...] severe depression and other negative mental feelings are clear indications of the involvement of the central nervous and autonomic system”. Ebenso argumentieren Kuipers (1998), Lehmann et al. (1991), Lehmann, Schnee et al. (1992), Meeusen (1999) und Steinacker et al. (2000), die mit Überbelastungen in Verbindung gebrachte Symptome psychologischer und hormoneller Art auf Veränderungen in der autonomen Regulation des vegetativen Nervensystems und in dessen übergeordneten Einheiten zurückführen.

Alle Organe des menschlichen Körpers, und somit auch das Herz, werden vom vegetativen oder autonomen Nervensystem innerviert. Dies geschieht zum einen über humorale, zum anderen über direktere, neuronale Mechanismen – Signalübertragungen an den jeweiligen Effektorganen über die sogenannten Überträgersubstanzen Acetylcholin bzw. Noradrenalin (vgl. Dickhuth, 2000; Horn, 2003; Klinke et al., 2005). Sympathikus und Parasympathikus als Teilsysteme des autonomen Nervensystems treten dabei häufig als Gegenspieler auf und entfalten beispielsweise bei der Innervierung des Herzens gegensätzliche Wirkungsweisen. Eine Zunahme der Aktivität des parasympathischen Nervensystems verlangsamt die Ruheherzfrequenz, während eine gesteigerte Aktivität des Sympathikus die Ruheherzfrequenz erhöht (Aubert, Seps & Beckers, 2003; Dickhuth, 2000; Klinke et al., 2005; Schandry, 2003).

Ein ganzes Netzwerk von Gehirnstrukturen, auch 'Central Autonomic Network' genannt, ist an der Generierung und Weiterleitung efferenter sympathischer und vagaler Signale beteiligt (Esperer, 2004; Schandry, 2003; vgl. Aubert et al., 2003). Während die genauen Mechanismen der vegetativen Umstellung im Einzelnen unklar sind, werden dem Hypothalamus, dem limbischen System sowie der ‚Medulla oblongata‘ als Integrationsorgane vegetativer Funktionen eine übergeordnete Funktion zugeschrieben (Horn, 2003; Schandry, 2003). Im Zusammenhang mit Überbelastungen wird eine Dysregulation zentraler Steuerungsprozesse vermutet, die wiederum Befindlichkeitsverschlechterungen, gestörten Schlaf bzw. regenerative Prozesse sowie hormonelle Dysfunktionen verursachen könnten (vgl. Meeusen, 1999; Meeusen et al., 2007).

Abbildung 2 stellt vereinfacht die verschiedenen Ebenen im Zentralnervensystem dar, die an der Steuerung der Aktivität des vegetativen Nervensystems beteiligt sind und somit auch bei der Entstehung von Ermüdung eine ursächliche Rolle spielen könnten:

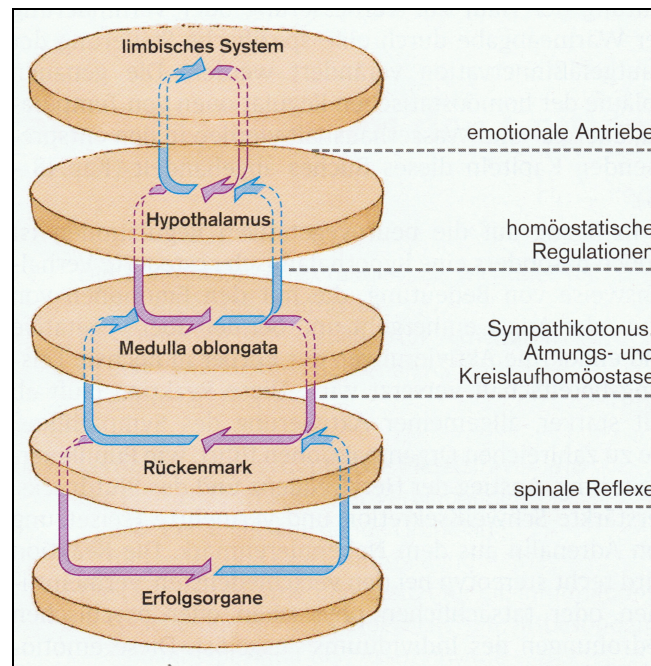


Abb. 2: Zentrale autonome Steuerungsprozesse (Klinke et al., 2005, S. 799)

Dennoch sind auch hier periphere und zentrale Prozesse nicht voneinander zu trennen. So könnten beispielsweise auch ein verändertes Substratangebot im Muskel, möglicherweise aber auch durch Muskelschäden hervorgerufene Entzündungsvorgänge auf zentrale Mechanismen zurückwirken. In diesem Zusammenhang geht die Zytokin-Hypothese (Lakier Smith, 2003; Smith, 2000; vgl. Main, Dawson, Heel, Grove, Landers & Goodman, 2010) davon aus, dass lokale mechanische Muskel- und Gelenkschäden systemische Auswirkungen haben und beispielsweise via Interleukine auf zentrale vegetative Funktionen wirken können.

### 2.3.5 Biomechanische Prozesse

Nach Noakes (2000) zeigen Ultramarathonläufer, die einen höheren Trainingsumfang absolvieren als ihre Kontrahenten, häufig aufgrund verbesserter koordinativer Fähigkeiten einen ökonomischeren Laufstil. Dies ermöglicht es ihnen, bei gleichem Sauerstoffbedarf schneller zu laufen.

Im Verlauf eines Wettkampfes kommt es bei lang andauernden Ausdauerbelastungen zu einer Ermüdung, die auch koordinative Aspekte beeinflusst. Biomechanische und koordinative Veränderungen lassen sich bis zu sieben Tage nach einem Marathon nachweisen (Nicol & Komi, 1998). Charakteristisch sind Veränderungen im Dehnungs-Verkürzungszyklus der Muskulatur, die eine zeitliche Verlängerung der Abbrems- und Beschleunigungsbewegung beim Laufen bedingen (Noakes, 2000). Diese Veränderungen könnten ursächlich verantwortlich für das Auftreten von Verletzungen im Zusammenhang mit lang andauernden Laufbelastungen und damit einhergehender Ermüdung sein:

„Stretch shortening fatigue results usually in a reversible muscle damage process and has considerable influence on muscle mechanics, joint and muscle stiffness as well as on reflex intervention“ (Komi & Nicol, 2000).

### 2.3.6 *Psychologische und motivationale Aspekte*

Motivationale und psychologische Aspekte konkurrieren nach Ansicht von Noakes (2000) mit der Rolle des beschriebenen zentralen Schutzmechanismus, der ein Erschöpfungsgefühl vor Erreichen echter Ausbelastung generiert.

Dennoch tragen bewusste kognitive Prozesse zu einer Aufrechterhaltung körperlicher Belastung bei. Ihnen wird im Bereich des Ultralangstreckenlaufs eine besondere Bedeutung beigemessen. Neben dem Einfluss motivationaler Prozesse auf die sportliche Leistungsfähigkeit ist der Zusammenhang zwischen verschiedenen Komponenten psychischer Befindlichkeit und der Toleranz von Trainings- und Wettkampfstressoren unbestritten.

## 2.4 Was meint Leistungsminderung?

Beim Auftreten einer Überbelastung oder eines Übertrainingssyndroms ist die sportliche Leistungsfähigkeit eines Athleten beeinträchtigt, wobei anzumerken ist, dass in bestimmten Trainingsphasen auch eine Leistungsstagnation als kritisch bewertet werden muss (vgl. Lehmann et al., 1998). Diese Leistungsminderung ist sportartspezifisch, das heißt, dass „die Fähigkeit, die in der Spezialsportart besonders gefordert wird, von der Leistungsminderung am stärksten betroffen ist“ (Israel, 1976, S. 3).

Die Auswahl geeigneter Leistungstests erscheint im Bereich der Sportsportarten mit hohem konditionellen und koordinativen Anforderungsprofil schwierig. Sie liegen daher in standardisierter Form häufig nicht vor. Im Ausdauerbereich werden unterschiedliche Testverfahren angewendet. Urhausen und Kindermann (2000, 2002a) berichten bei stufenweise ansteigenden ergometrischen Testverfahren von tendenziell bis signifikant reduzierten, häufig aber auch unveränderten Maximalleistungen bei überbelasteten Ausdauersportlern. Sie schlagen daher kurzzeitige und anaerobe Testverfahren vor, um Überbelastungen bei Radfahrern und Triathleten zu diagnostizieren.

Meeusen et al. (2006) gehen davon aus, dass Leistungstests mit konstanter Intensität (z. B. 70-85 % der bei einem stufenförmigen Ausbelastungstest erreichten maximalen Geschwindigkeit), die die Zeitdauer bis zur Erschöpfung als diagnostisches Merkmal ansehen, klarere Veränderungen anzeigen als stufenförmig ansteigende Belastungsformen (vgl. Halson & Jeukendrup, 2004). Studienergebnisse von Bosquet, Leger und Legros (2001) unterstützen diese These, die Autoren vermuten daher, dass solche so genannten 'timetrial-Tests' geeigneter sind, um eine Überbelastung oder ein Übertrainingssyndrom in Ausdauersportarten zu diagnostizieren.

Aus diesen Ausführungen ist abzuleiten, dass die Auswahl eines Leistungstests bestimmte Kriterien erfordert. Art und Dauer der Belastungsform sollten sich demnach an der entsprechenden Sportart orientieren. Um eine Diagnose zu ermöglichen, ist es erforderlich, die Leistungstests nach einer entsprechenden Erholungszeit zu wiederholen. Zudem sollte auf Referenz- oder Normwerte zurückgegriffen werden können, die das unbeeinträchtigte Leistungspotenzial des Sportlers anzeigen.

Quantitative Angaben in Bezug auf Leistungsminderungen im Zusammenhang mit Überbelastungen reichen von 0,7 % bis 25 % (vgl. Bosquet et al., 2001), jedoch finden sich nur wenige und gleichzeitig unterschiedliche Prozentangaben, die eine kritische Leistungsminderung von als normal zu bewertenden Tag-zu-Tag-Schwankungen abzugrenzen versuchen. Kuipers, Verstap-

pen, Keizer, Geurten und van Kranenburg (1985) untersuchten daher zehn moderat trainierende Sportler über einen Zeitraum von 9-12 Monaten und fanden eine intraindividuelle Leistungsvarianz von ca. 5 % bei wöchentlich durchgeführten stufenförmig ansteigenden Fahrradergometertests. Da die Sportler gleichmäßig und nicht periodisiert trainierten, sind diese Zahlen möglicherweise als realistisch einzustufen und wurden daher von anderen Autoren übernommen (vgl. Rietjens et al., 2005).

Im Leistungsbereich und bei hochtrainierten Sportlern könnten jedoch auch geringfügigere Leistungsminderungen auftreten – Snyder et al. (1995) sowie Uusitalo, Huttunen, Hanin, Uusitalo und Rusko (1998) gehen daher in ihren Studien von kritischen Leistungsminderungen ab 3 bzw. 4 % aus.

Nach Lehmann et al. (1998) ist eine Leistungsminderung im Bereich von ca. 2-3 % kaum von intra-individuellen Schwankungen oder Spontan- und Methoden-Variabilität im Labor- oder Feldtest abzugrenzen, sodass wahrscheinlich erst Leistungsminderungen von 5-10 % diagnostischen Nutzen besitzen (vgl. O'Connor et al., 1989). Auch Vogel et al. (2001) orientieren sich in ihrer Studie an einer 10%igen Leistungsminderung bei einem stufenförmigen Ergometertest, welche die Autoren als notwendige Bedingung für die Diskussion möglicher Überbelastungen ansehen.

## 2.5 Erscheinungsformen des Übertrainingssyndroms

Israel (1976) unterscheidet zwei Erscheinungsformen des Übertrainings(syndroms), deren Kardinalsymptom eine herabgesetzte sportartspezifische Leistungsminderung ist. Das ‚base-dowide (sympathische oder klassische) Übertraining(ssyndrom)‘ ist gekennzeichnet durch einen Symptomkomplex, der auf eine Erhöhung des Sympathikotonus zurückzuführen ist. Entsprechend hat das ‚addisonoide (parasympathische oder moderne) Übertraining(ssyndrom)‘ seinen Ursprung in einem Überwiegen des Parasympathikotonus.

Israel (1976, S. 6) bezeichnet Dysbalancen des autonomen Nervensystems, „Störungen in der Koordination der Erregungs- und Hemmungsprozesse“, als charakteristisch für beide Formen. Diese Störungen, resultierend aus einem Missverhältnis zwischen Belastung und Belastbarkeit, führen zu unterschiedlichen, teilweise gegensätzlichen, physiologischen und psychologischen Veränderungen. Es wird davon ausgegangen, dass der Hypothalamus im Zusammenspiel mit dem ‚Central Autonomic Network‘ einen zentral modulierenden Einfluss auf autonome Prozesse ausübt (vgl. Esperer, 2004; Schandry, 2003), sodass diese zentralen Einheiten im Zusammenhang mit autonomen Dysbalancen und entsprechend auftretenden Symptomen eine entscheidende steuernde Rolle spielen dürften (vgl. Kuipers, 1998).

Während Israel (1976) beide Formen des Übertrainingssyndroms als „recht sicher“ voneinander abgrenzbar beschreibt, vermuten andere Autoren, dass es auch einen Mischtyp beider Varianten gibt (Urhausen & Kindermann, 2002a) bzw. diese unterschiedliche Stufen einer Stressreaktion repräsentieren könnten (vgl. Fry et al., 1991; Urhausen & Kindermann, 2000; Uusitalo et al., 1998). Möglicherweise zeigen sich die von Urhausen und Kindermann (2002a) genannten Mischformen in den Übergängen von der Überbelastung zum Übertrainingssyndrom. Eine präzise Beschreibung dieser Übergänge ist zurzeit jedoch nicht zu leisten (Vogel, 2001).

In der aktuellen sportwissenschaftlichen Literatur werden unterschiedliche physiologische Reaktionen im Zusammenhang mit Fehlbelastungen mit individuellen Reaktionsmechanismen

(Kuipers & Keizer, 1988; Vogel, 2001) oder, wie bei Israel (1976), mit belastungsabhängigen Reaktionen des autonomen Nervensystems erklärt (Lehmann et al., 1991; Lehmann et al., cop. 1998).

Israels Modell ist bis heute zwar umstritten, findet in der sportwissenschaftlichen Literatur zum Thema Übertraining jedoch nach wie vor in zahlreichen Veröffentlichungen Erwähnung, ebenso in Standardwerken der Sportmedizin und Sportbiologie (vgl. Dickhuth, 2000; Weineck, 2002). Seine Ausführungen sind weder durch eigene Studien noch entsprechende Verweise belegt, dennoch erscheint die dargestellte Grundidee nach wie vor aktuell. Eine Vielzahl vorliegender Untersuchungen geht in ihrer Grundannahme davon aus, dass durch Fehlbelastungen oder Überlastungen hervorgerufene physiologische und psychologische Reaktionen auf Dysbalancen des autonomen Nervensystems hinweisen (Fry et al., 1991; Lehmann et al., cop. 1998; Uusitalo et al., 1998).

Uusitalo, Uusitalo und Rusko (1998) konnten diese Vermutungen anhand von Untersuchungen mit Ausdauersportlerinnen mittels chemisch induzierter parasympathischer bzw. sympathischer Blockade während Herzfrequenzmessungen allerdings nicht nachweisen.

### *2.5.1 Das addisonoide Übertrainingssyndrom*

Die addisonoide Variante des Übertrainings(syndroms) ist gekennzeichnet durch eine Übersteuerung der parasympathischen Regulationsvorgänge, im vegetativen Nervensystem überwiegen Hemmungsprozesse, die charakteristisch für Ruhe- und Erholungsphasen sind (vgl. Lehmann et al., 1997). So hat der Parasympathikus als Teilsystem des Nervensystems eine frequenzsenkende Wirkung auf das Herz und einen negativen Einfluss auf die Kontraktionskraft der Vorhöfe (Dickhuth, 2000). Als charakteristisch für ein addisonoides Übertrainingssyndrom müssen demnach ein erniedrigter Ruhepuls (Adams & Kirkby, 2001; Hollander et al., 1995; Hottenrott, 2002b; Israel, 1976; Lehmann, Foster et al., 1993; Lehmann et al., cop. 1998) und damit einhergehend erhöhte Herzfrequenzvariabilitätswerte (vgl. Berbalk, 1999; Berbalk & Bauer, 2001; König, Schumacher, Schmidt-Trucksäss & Berg, 2003) gewertet werden. Weiterhin genannt werden ein erniedrigter Belastungspuls bei submaximalen und maximalen Intensitäten (Lehmann, Foster et al., 1993), eine reduzierte Laktatbildung bei submaximalen und maximalen Intensitäten (Kuipers & Keizer, 1988; Lehmann et al., 1991; Lehmann, Foster et al., 1993; Lehmann et al., cop. 1998; Voigt, 1990) – an anderer Stelle jedoch auch eine Zunahme maximaler Laktatwerte (Hollander et al., 1995) – und häufig auch eine gute Regenerationskapazität (Fry et al., 1991; Hollander et al., 1995; Israel, 1976; Lehmann, Foster et al., 1993).

Als zusätzliche Indikatoren gelten, neben einer sportartspezifischen Leistungsminderung vor allem bei hochintensiven anaeroben Belastungen (Lehmann, Foster et al., 1993; Lehmann et al., cop. 1998), Stimmungsschwankungen bzw. psychische Auffälligkeiten wie Apathie, Phlegma oder Depression (Hollander et al., 1995; Lehmann, Foster et al., 1993; Lehmann et al., cop. 1998), eine verminderte Katecholaminausscheidung (Lehmann, Foster et al., 1993; Lehmann et al., cop. 1998), eine herabgesetzte neuromuskuläre Erregbarkeit, ein erhöhter Kortisolspiegel, Beschwerden wie Muskelsteifheit und Muskelschmerzen (Lehmann, Foster et al., 1993), erniedrigte Ruhelaktatwerte (Hollander et al., 1995) und zentrale Ermüdungserscheinungen

(Hollander et al., 1995; Kuipers, 1998; Lehmann et al., 1998; Urhausen & Kindermann, 2002a; Vogel, 2001). Zudem werden koordinative Beeinträchtigungen bei hohen Belastungsintensitäten als charakteristisch gewertet (Israel, 1976). Lehmann et al. (1997) bringen die addisonoide Variante des Übertrainingssyndroms mit zentralen Ermüdungserscheinungen in Verbindung.

Israel (1976, S. 3) weist darauf hin, dass diese Form des Übertrainings(syndroms) „relativ schwer objektivierbar“ sei, sich langsam ausbilde und sein Anfang kaum zu datieren sei. Die genannten Symptome ähneln normalen positiven Anpassungserscheinungen an sportliches Training, haben also nur in Zusammenhang mit Leistungsminderungen diagnostischen Nutzen.

Sportler der (Langzeit-)Ausdauersportarten sowie Sportler, die mit sehr hohen Belastungsumfängen trainieren, neigen dazu, ein addisonoides Übertrainingssyndrom zu entwickeln (Adams & Kirkby, 2001; Dickhuth, 2000; Lehmann et al., 1991; Lehmann et al., 1998).

### 2.5.2 Das basedowide Übertrainingssyndrom

Ein basedowoides Übertraining(ssyndrom) ist gekennzeichnet durch eine Übersteuerung der sympathischen Regulationsvorgänge, im vegetativen Nervensystem überwiegen die Erregungsprozesse. Auf diese Weise kann es zu einer Überforderung der organismischen Anpassungsfähigkeit kommen (Weineck, 2002). Diese Form des Übertrainings(syndroms) zeigt sich, abgesehen von einer sportartspezifischen Leistungsminderung (Lehmann et al., 1991), möglicherweise durch eine erhöhte Ruheherzfrequenz (Adams & Kirkby, 2001; Dressendorfer, Wade & Scaff, 1985; Hollander et al., 1995; Israel, 1976; Lehmann et al., 1991) und damit einhergehenden erniedrigten Herzfrequenzvariabilitätswerten im Ruhezustand (Berbalk, 1999; Berbalk & Bauer, 2001; Hottenrott, 2002b; König et al., 2003), durch verminderte maximale Laktatwerte (Lehmann et al., 1991), eine erhöhte Katecholaminausscheidung (Lehmann, Foster et al., 1993), Gewichtsabnahme (Lehmann et al., 1991) sowie durch Befindlichkeitsstörungen wie Angst, Nervosität, innere Unruhe, Gereiztheit, Übererregtheit und Neigung zu Infekten (Israel, 1976; Lehmann et al., 1991; Lehmann, Foster et al., 1993; Martin et al., 1993; Weineck, 2002), Schlafstörungen (Hollander et al., 1995; Israel, 1976), herabgesetzten Appetit (Lehmann et al., 1991), durch eine verminderte Regenerationsfähigkeit (Adams & Kirkby, 2001; Fry et al., 1991) sowie durch koordinative Störungen und Kopfschmerzen (Israel, 1976).

Nach Israel (ebenda) fällt die Diagnose leicht, der Sportler „fühlt sich krank“. Als Ursache für ein basedowoides Übertraining(ssyndrom) werden hohe Belastungsintensitäten genannt, ohne dass zuvor durch einen entsprechenden Umfang eine angemessene Grundlage für derartige Belastungen geschaffen wurde.

Israel (1976) ordnet das basedowide Übertraining(ssyndrom) Kraft- und Schnellkraftdisziplinen sowie Spisportarten mit hohem technischen Anforderungsprofil zu und bezeichnet jugendliche Sportler als prädestiniert für die Ausbildung dieser Variante. Fry et al. (1991) sehen es als charakteristisch für sportliche Tätigkeiten an, die mit einer hohen Beanspruchung anaerober Energiebereitstellung verbunden sind (vgl. Budgett, 1998).

## 2.6 Auswahl diagnostischer Parameter

Für Sportler ist es von entscheidender Bedeutung, ein Übertrainingssyndrom mit nicht absehbaren Folgen für Gesundheit und sportliche Karriere zu vermeiden. Eine Überprüfung und Zusammenstellung verschiedener geeigneter und möglichst einfach zu ermittelnder diagnostischer Parameter, welche auch als Frühwarnsymptome geeignet wären, ist bis heute jedoch nicht gelungen (vgl. Kenttä & Hassmén, 1998) und sollte daher im Mittelpunkt der Forschungsvorhaben zu diesem Thema stehen.

Ein Blick auf diejenigen Parameter, die in der sportwissenschaftlichen Literatur Erwähnung finden, ermutigt zunächst nicht:

“The apparent vagueness surrounding OTS (Overtraining Syndrome) is (further) complicated by the fact that the clinical features are [...] non-specific, anecdotal, and numerous” (Meeusen et al., 2006, S. 3).

Fry et al. (1991) beispielsweise haben allein 84 sogenannte Hauptsymptome aufgelistet, die grundsätzlich mit überbelasteten Sportlern in Verbindung gebracht werden. Vogel (2001) fasste in seiner Arbeit die gängigsten der bisher in Untersuchungen über Übertrainingszustände verwendeten diagnostischen Parameter zusammen. Die Angaben beziehen sich auf Studien mit Leistungs- und Freizeitsportlern aus den Sportarten Schwimmen, Kanu, Radfahren und Laufen und sind auszugsweise dargestellt.

Im Hinblick auf die sportliche Leistung eines Athleten finden sich folgende diagnostisch verwertbare Angaben:

- keine Verbesserung der sportartspezifischen Leistungsfähigkeit im halbjährigen Saisonverlauf (Hooper et al., 1995)
- eine Leistungsminderung bei einem Ausbelastungstest (time trial) mit einer Intensität von 85 % der bei einem Stufentest erzielten maximalen Laufgeschwindigkeit (Bosquet et al., 2001)
- eine reduzierte maximale Leistungsfähigkeit, ohne weitere quantitative Angaben (Jeukendrup et al., 1992; MacKinnon, 2000; Meeusen et al., 2006; Uusitalo et al., 1998)
- eine um ca. 3–10 % reduzierte maximale Leistungsfähigkeit (Snyder et al., 1995; Vogel et al., 2001), Vogel et al. (ebenda) nennt gleichzeitig eine Abnahme der maximal erzielten Laufgeschwindigkeit bei einem Laktat-Stufentest um 0,6 km/h
- eine um mindestens 2 ml/kg/min bzw. 4 % reduzierte maximale Sauerstoffaufnahmefähigkeit (Uusitalo et al., 1998)
- eine Leistungsminderung bei einem Radrennen auf identischer Strecke um 5 % (Slivka, Hailes, Cuddy & Ruby, 2010)
- eine Leistungsminderung bei einem herzfrequenzorientierten Lauftest (Zoladz-Test) um mindestens 5 % bei zwei aufeinanderfolgenden Tests im Vergleich zu einem Normwert (Schmikli et al., 2010)

Bezogen auf die individuelle Befindlichkeit und Trainingsverträglichkeit existieren nachstehende Kriterien:

- andauernde Müdigkeit (MacKinnon, 2000; Meeusen et al., 2006), die bei Hooper et al. (1995) und Bosquet et al. (2001) näher quantifiziert werden, indem Müdigkeitsangaben



über einem Wert von 5 auf einer Skala von 1 (very, very low) bis 7 (very, very high) an mindestens sieben aufeinanderfolgenden Tagen als diagnostisches Kriterium verwendet werden

- schlechte Trainingsverträglichkeit und Trainingsunlust (Hooper et al., 1995; Uusitalo et al., 1998)
- Stimmungsschwankungen und Schlafstörungen (MacKinnon, 2000; Meeusen et al., 2006; Urhausen & Kindermann, 2002a, 2002b; Uusitalo et al., 1998), Berglund und Säfström (1994) quantifizieren diese, indem sie eine Veränderung des Summenwertes des Profile of Mood State (POMS) um mehr als 50 % gegenüber Baselinewerten angeben
- ein erhöhter Borg-Wert bei Belastungstests (Meeusen et al., 2006), Vogel et al. (2001) konkretisieren dies, indem sie von einer Zunahme der über alle Belastungsstufen aufsummierten Punkte auf der Borg-Skala um 3 oder mehr ausgehen
- Appetitlosigkeit (Uusitalo et al., 1998)

Die Herzfrequenz betreffend finden sich folgende Angaben:

- eine erniedrigte maximale Herzfrequenz (MacKinnon, 2000), wobei Snyder et al. (1995) von einer Erniedrigung um mehr als 5 Schläge pro Minute ausgehen, Urhausen und Kindermann (2002b) von lediglich 3-5 Schlägen pro Minute bzw. 3 % (vgl. Urhausen & Kindermann, 2002a)
- eine Veränderung der Herzfrequenz bei stufenförmigen Belastungstests um durchschnittlich 10 Schläge pro Minute pro Stufe (Vogel et al., 2001)
- eine Erhöhung der Ruheherzfrequenz um 25 Schläge pro Minute (Meitern 1989, zitiert nach Voigt, 1990)
- ein Erholungspuls von mehr als 100 Schlägen pro Minute 10 Minuten nach Beendigung einer Belastung (Karvonen, 1992)
- eine um 10 % erhöhte Ruheherzfrequenz (Slivka et al., 2010)
- eine um mindestens 5 Schläge pro Minute erhöhte Ruheherzfrequenz (Schmikli et al., 2010)
- eine Zunahme der submaximalen Herzfrequenz bei einem vordefinierten Belastungstest um mehr als die über den Untersuchungszeitraum ermittelte Standardabweichung (hier: 8 Schläge pro Minute) (Slivka et al., 2010)
- eine mindestens einen Monat anhaltende Zunahme der mittleren Herzfrequenz während identischer Belastungsformen um mindestens 5 % (Schmikli et al., 2010)

Bezogen auf blutchemische Parameter existieren folgende bereits verwendete Diagnosekriterien:

- reduzierte Plasmacortisolspiegel (Snyder et al., 1995)
- reduzierte maximale Laktatwerte (MacKinnon, 2000; Urhausen & Kindermann, 2002a, 2002b), Vogel et al. (2001) präzisieren, indem sie von einer Reduzierung um mindestens 1 mmol/l oder 20 % auf der letzten vollständig durchlaufenen Belastungsstufe bei einem Ausbelastungstest ausgehen
- eine Reduktion des Quotienten aus Maximallaktat und Borg-Wert  $\times 100$  um mehr als 20 (Borg-Skala von 0 bis 10) bei Durchführung standardisierter maximaler Belastungen (Snyder et al., 1995)

- ein Abfall des Verhältnisses von Testosteron zu Cortisol um mehr als 30 % (Slivka et al., 2010)

Fragebögen, die Merkmale einer Überbelastung und Erholungsdefizite ermitteln, kommen bei Bosquet et al. (2001), Jeukendrup et al. (1992) und Snyder et al. (1995) als diagnostische Instrumentarien zum Einsatz. Die quantitativen Angaben über notwendige Veränderungen, um von einem diagnostischen Nutzen ausgehen zu können, sind hierbei unterschiedlich.

Weiterhin ist anzumerken, dass der Ausschluss von Krankheiten und Verletzungen, die als alternative Erklärungen für eine mögliche Leistungsminderung dienen könnten, für die Erstellung einer Diagnose erforderlich ist (Hooper et al., 1995; Meeusen et al., 2006; Uusitalo et al., 1998).

In einer der wenigen Untersuchungen mit Sportlern, die von einem Mediziner als überbelastet bzw. als unter einem Übertrainingssyndrom leidend eingestuft wurden, und die zwischen zwei Wochen und einem Jahr unter symptomatischen Beschwerden wie Müdigkeit, dem Gefühl schwerer Beine und Leistungsminderungen litten, versuchten Meeusen et al. (2008), hormonelle Indikatoren darzulegen. Die Autoren testeten die insgesamt zehn Sportler anhand zweier Stufentests auf dem Laufband oder Fahrradergometer bis zur Ausbelastung und untersuchten hormonelle Veränderungen vor sowie unmittelbar nach beiden Tests. Die Autoren postulieren abschließend, dass eine signifikante Erhöhung der Konzentration der Hormone ACTH (adrenocorticotrophic hormone) und PRL (prolactin hormone) unmittelbar nach dem zweiten Test – im Vergleich zu Ruhewerten vor dem Test – für eine Überbelastung, eine Erniedrigung oder Stagnation dieser Hormone für ein Übertrainingssyndrom sprächen. Nederhof et al. (2008) konnten diese These mittels Untersuchungen an zwei überbelasteten Eisschnellläuferinnen und einer normal trainierten Eisschnellläuferin jedoch nicht bestätigen.

Meeusen et al. (2006) stellen einige Leitfragen vor, anhand derer sich eine mögliche Diagnose eines Übertrainingssyndroms orientieren sollte. Darin erwähnen die Autoren u. a. folgende Aspekte:

- Erhöhte sich das Trainingsvolumen um mehr als 5 % (Stunden/Kilometer pro Woche)?
- Stieg die Trainingsintensität signifikant an?
- Lag Trainingsmonotonie vor?
- Gab es eine hohe Anzahl von Wettkämpfen?
- Lagen soziale, emotionale oder andere Stressoren vor?
- Gibt es Normwerte von Leistungsparametern und weiteren psychologischen/physiologischen Parametern, die zum Vergleich herangezogen werden können?

Anzunehmen ist, dass – der Ausschluss von Krankheiten und Verletzungen vorausgesetzt – eine Kombination verschiedener Diagnoseparameter notwendig ist, um eine Überbelastung bzw. ein Übertrainingssyndrom diagnostizieren zu können, denn es erscheint „außerordentlich unwahrscheinlich, dass Veränderungen einzelner Parameter für die Veränderungen aller Systeme repräsentativ sein sollen“ (Vogel, 2001, S. 160; vgl. Hendrickson & Verde, 1994; Israel, 1976; O'Toole, cop. 1998). Die ausgewählten Parameter müssten in der sportlichen Praxis

einzelfallbezogen verwendet und interpretiert werden, d. h. unter Berücksichtigung vorliegender individueller Norm- und Vergleichswerte (vgl. Vogel, 2001).

## 2.7 Diskussion ausgewählter Aspekte zur Diagnostik

Aus der beschriebenen Problematik bei der Definition von Ermüdungszuständen, die durch Fehl- oder Überlastungen hervorgerufen werden, ergeben sich einige Punkte, die im Zusammenhang mit der Erstellung möglicher Diagnoseparameter nachfolgend diskutiert werden.

Diagnostische Parameter zur Hand zu haben, welche auch präventiv verwertbar wären, würde Sportlern und Trainern eine enorme Hilfe für die Trainingssteuerung bieten:

“Athletes and the fields of sports medicine in general would benefit greatly if a specific, sensitive simple diagnostic test existed for the diagnosis of OTS (Overtraining Syndrome)” (Meeusen et al., 2006, S. 4).

Die Autoren nennen als weitere Kriterien für verlässliche Indikatoren, dass diese vor der Ausbildung eines Übertrainingssyndroms nachweisbar sind sowie die Unterscheidung akuter und chronischer Veränderungen aufgrund sportlicher Belastungen ermöglichen.

Nach heutigem Kenntnisstand ist die Früherkennung einer Überbelastung oder eines Übertrainingssyndroms nach den von Meeusen et al. (ebenda) genannten Kriterien aus verschiedenen Gründen jedoch nicht möglich.

Zunächst erfordert das Erstellen einer Diagnose – wie in Kapitel 2.4 bereits erwähnt – eine medizinische Untersuchung, die krankheitsbedingte (z. B. organische Erkrankungen oder Infekte, z. B. Epstein-Barr-Virus) oder andere konkurrierende Ursachen für eine Leistungsminderung (z. B. Eisen-, oder Magnesiummangel, eine negative Energiebilanz, endokrinologische Auffälligkeiten, Allergien, Asthma, Blutarmut, Borreliose etc.) ausschließt (vgl. Halson & Jeukendrup, 2004; Meeusen et al., 2006; Purvis et al., 2010). In der sportlichen Praxis wird auf diesen Ausschluss häufig verzichtet, ebenso fehlt er bei der großen Mehrzahl bisher durchgeführter experimenteller und nicht-experimenteller Untersuchungen.

Problematisch erscheint weiter ein fehlender Konsens über einheitliche Kriterien einer Ausschlussdiagnose. So werden beispielsweise Infekte einerseits als Ausschlusskriterium genannt (vgl. Hooper et al., 1995; Meeusen et al., 2006; Uusitalo et al., 1998), andererseits in einigen Arbeiten als mögliche Symptome (Hendrickson & Verde, 1994; Pearce, 2002) bzw. Ursachen (Israel, 1976; Kindermann, 1986) einer Überbelastung oder eines Übertrainingssyndroms aufgeführt. Eine klare Trennung zwischen Ursachen und Symptomen einer Überbelastung ist kaum möglich, berücksichtigt man beispielsweise zusätzlich zum sportlichen Training wirkende psychologische Stressoren und damit verbundene Befindlichkeitsstörungen. Vielfach können alternative Erklärungen für eine Leistungsminderung nicht ausgeschlossen werden und erschweren daher die Bestimmung ursächlicher Faktoren (vgl. Lehmann et al., 1999). Ein Konsens über mögliche Ausschlusskriterien ist jedoch für die begriffliche Einordnung vorliegender Erschöpfungszustände unabdingbar.

Meeusen et al. (2006) verweisen auf die möglicherweise subtilen Unterschiede zwischen Symptomen einer Überbelastung und eines Übertrainingssyndroms, die auch belastungs- bzw. sportartspezifisch sowie individuell variieren (vgl. Armstrong & VanHeest, 2002; Fry et al., 1991;

Israel, 1976; Karvonen, 1992; Kenttä & Hassmén, 1998; Kuipers & Keizer, 1988; Lehmann, Foster et al., 1993; Lehmann et al., 1998; Moeller, 2004; O'Toole, cop. 1998; Pearce, 2002; Raglin & Barzdukas, 1999; Urhausen & Kindermann, 2000; Uusitalo et al., 1998; Uusitalo, 2001) und bereits im Vorfeld einer Leistungsminderung auftreten können. Angenommen wird vielfach dennoch, dass die mit einem Übertrainingssyndrom einhergehenden Symptome stärker ausgeprägt sind als bei einer Überbelastung (Fry et al., 1991; Halson & Jeukendrup, 2004; Kuipers & Keizer, 1988; Meeusen et al., 2006; Nederhof et al., 2007; vgl. Kenttä & Hassmén, 1998) – dies ist bisher allerdings nicht durch entsprechende Studienergebnisse belegt und näher quantifiziert worden. Denkbar ist, dass multifaktorielle Auslöser einer Überbelastung oder eines Übertrainingssyndroms unterschiedliche symptomatische Veränderungen hervorrufen können. So könnten sich beispielsweise die Merkmale einer durch zu hohe Belastungsintensitäten ausgelösten Überbelastung von denen einer durch externe Stressfaktoren, mangelnde Regenerationszeit bzw. zu hohe Belastungsumfänge ausgelösten Überbelastung intraindividuell unterscheiden. Die für einen bestimmten Sportler als diagnostisch verwertbar bewerteten Symptome bedürfen also im langfristigen Trainingsverlauf einer ständigen Überprüfung.

Belastungsanforderungen rufen Abwehrmechanismen hervor, die verschiedene miteinander interagierende physiologische Systeme, z. B. immunologischer oder neuroendokriner Art, aktivieren, sodass kein einzelner ursächlicher physiologischer oder psychologischer Mechanismus herausgefiltert werden kann, der die diversen genannten symptomatischen Veränderungen in Zusammenhang mit Überbelastungen oder Übertrainingssyndromen erklären könnte (MacKinnon, 2000; Meeusen et al., 2006). Vielmehr ist durch das komplexe Zusammenwirken der physiologischen Systeme eine Vielzahl sich gegenseitig verursachender Veränderungen zu erwarten (vgl. Vogel, 2001). Eine frühzeitige, realistische und quantifizierbare symptombezogene Differenzierung zwischen Ermüdung, Überbelastung und Übertrainingssyndrom kann daher nach heutigem Kenntnisstand nicht geleistet werden (vgl. Jugde & Potteiger, 2000; Lehmann, Foster et al., 1993; Vogel, 2001). Fry et al. (1991) sowie Vogel (2001) sehen darin das grundlegendste Problem in der Übertrainingsdiskussion und gehen von fließenden Übergängen zwischen den genannten Stadien aus (vgl. Kenttä & Hassmén, 1998; Lehmann, Foster et al., 1993).

Sowohl bei einem Superkompensationstraining als auch bei einer Fehlbelastung mit nachfolgender Überbelastung kann es zu einer zeitlich verzögerten positiven Anpassung der sportlichen Leistung kommen. Für das Erstellen einer Diagnose ist es also grundsätzlich notwendig, den zeitlichen Rahmen einer eingetretenen Leistungsminderung, die das klarste und eindeutigste diagnostische Kriterium darstellt, zu bestimmen. Es existieren jedoch

„unterschiedliche Vorstellungen darüber [...], wie lange ein Leistungseinbruch andauern muss, damit von Überbelastung oder von Übertrainingssyndrom gesprochen werden kann“ (Vogel, 2001, S.156).

Es muss somit eine auf den Einzelfall bezogene Entscheidung getroffen werden, die *rückblickend* – nach einem Ausschluss vorgegebener weiterer Ursachen – beurteilt werden muss: „Jegliche diagnostischen Kriterien zur Abgrenzung der einzelnen Zustände bleiben somit bis zu einem gewissen Grade willkürlich“ (Vogel, 2001, S. 156) und daher uneinheitlich. Urhausen und Kindermann (2002a) beispielsweise bezeichnen einen Abfall der sportartspezifischen Leistungs-

fähigkeit mit teilweise ausgeprägten Befindlichkeitsstörungen über zwei bis drei Wochen als Diagnoseparameter für ein Übertrainingssyndrom, Meeusen et al. (2006) würden hier noch von einer Überbelastung ausgehen. Angaben wie von Rietjens et al. (2005), dass eine Leistungsminderung drei bis sechs Wochen andauern könne, bevor es sich um ein Übertrainingssyndrom handle, sind zu vage, um eine Überbelastung von einem Übertrainingssyndrom klar abgrenzen zu können.

Eine engmaschige Anwendung sportartspezifischer Tests ist in der sportlichen Praxis vielfach nicht üblich – schon gar nicht während Tapering- oder Regenerationsphasen –, sodass die Möglichkeit einer exakten Einschätzung der Dauer einer Leistungsminderung meist nicht gegeben ist.

Es stellt sich im Bereich des Übertrainings immer die Frage, „welche der (gemessenen) Veränderungen als normale Adaptation an einen Trainingsreiz zu interpretieren sind und welche Veränderungen eine Dekompensation des Systems anzeigen“ (Vogel, 2001, S. 157; vgl. Halson & Jeukendrup, 2004). Dabei zeigen sich individuelle Unterschiede in der Verarbeitung von Belastungssituationen (vgl. Hendrickson & Verde, 1994; Raglin & Barzdukas, 1999), Vogel (2001) spricht von hochindividuellen ‚Loci Minoris Resistentiae‘. Vor diesem Hintergrund ist es wahrscheinlich, dass bestimmte Parameterveränderungen bei einem Sportler mit einem normalen Ermüdungszustand einhergehen, während identische Veränderungen bei einem anderen Sportler Indizien für eine Überbelastung oder ein Übertrainingssyndrom sein könnten (vgl. Armstrong & VanHeest, 2002). Es erscheint also notwendig, einzelfallbezogene Diagnoseparameter oder Parameterkombinationen zu ermitteln, die homöostatische Dysbalancen auf individueller Ebene möglichst frühzeitig anzeigen.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass Sportlern wie Trainern keine Hilfe bezüglich der Früherkennung und Vermeidung einer Überbelastung zur Verfügung steht. Es gibt keine präzise und objektivierbare Unterteilung von Übergängen, die eine Belastbarkeitsgrenze erkennen ließe. Es ist unklar, welche Symptome, so sie denn auftreten, bei welchem Sportler welchen Grad der Erschöpfung anzeigen:

“It is presently not possible to discern acute fatigue and decreased performance experienced from isolated training sessions, from the states of overreaching and overtraining“ (Halson & Jeukendrup, 2004, S. 967).

### 3 Aktueller Forschungsstand zum Thema Übertraining

Bisher gibt es eine Vielzahl an Untersuchungen, die sich mit dem Themengebiet Übertraining auseinandersetzen und die Effekte intensiver Trainings- und Wettkampfphasen auf das Verhalten physiologischer, biochemischer, psychologischer, immunologischer sowie hormoneller Variablen dokumentieren. Die begriffliche Einordnung von Ermüdungszuständen muss dabei anhand der Dauer auftretender Leistungsminderungen erfolgen.

Zum besseren Verständnis und zur Wahrung der Übersichtlichkeit erfolgt die Darstellung der Studienergebnisse orientiert an der Struktur eines Metamodells, das in Anlehnung an Kenttä und Hassmén (1998) entwickelt wurde. Dieses Modell beschreibt vier hierarchische Ebenen, von denen die Stressoren- und die Steuerungsebene einen modulierenden Einfluss auf die Leistungs- und Symptomebene ausüben.

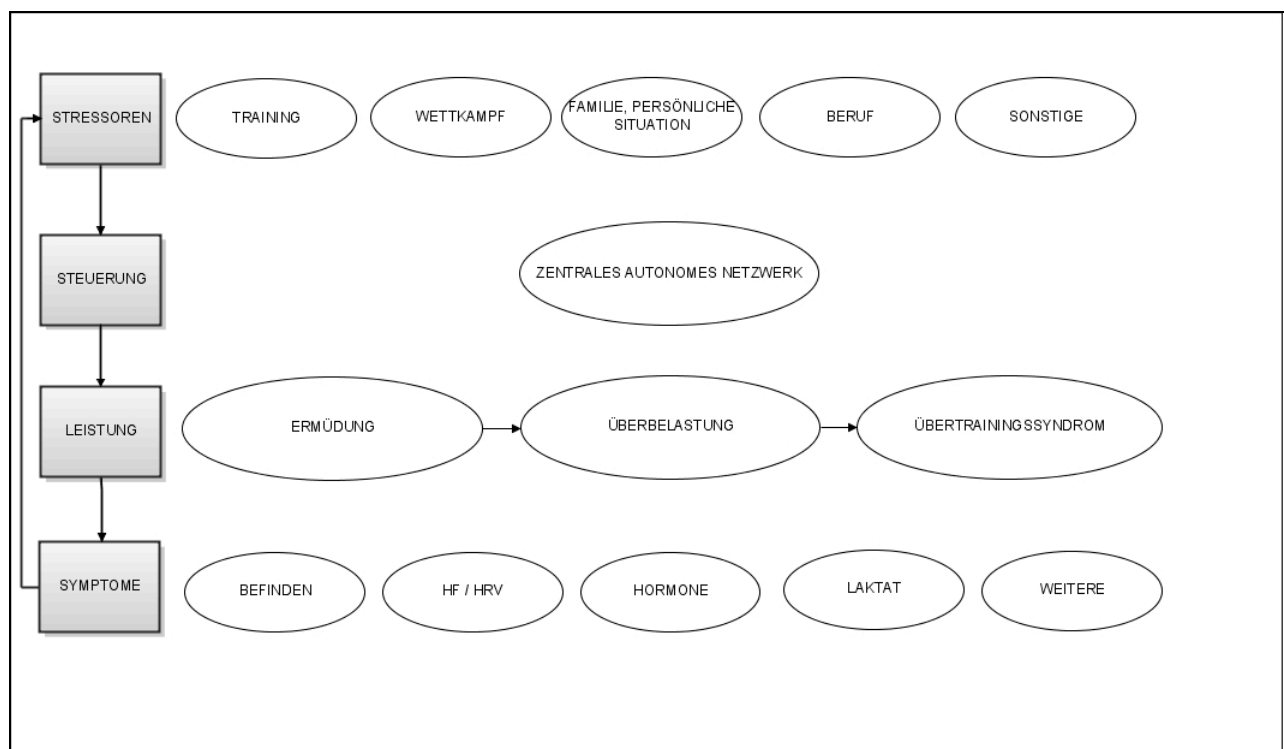


Abb. 3: Ein Metamodell als Überblick über hierarchische Ebenen im Zusammenhang mit Leistungsminderungen

Als Stressoren aufgeführt sind diejenigen Faktoren, die auf die Leistungsfähigkeit des Sportlers Einfluss nehmen können. Das Maß der tolerierbaren Belastungsfaktoren ist individuell unterschiedlich und abhängig von der aktuellen physiologischen und psychologischen Kapazität des Sportlers (vgl. Kenttä & Hassmén, 1998). Im optimalen Fall resultieren sie in einer Verbesserung der sportartspezifischen Leistungsfähigkeit nach kurzzeitiger Ermüdung. Die mit Ermüdung einhergehende Leistungsminderung kann unterschiedliche zeitliche Ausmaße annehmen. Im Falle einer zu hohen oder intensiven Einwirkung von Belastungsfaktoren über einen zu langen Zeitraum oder unter dem Einfluss zu starker weiterer äußerer Stressoren kann es zu einer ungewollt langen

Leistungsminderung mit oder ohne verzögerter Leistungsanpassung kommen. Je nach zeitlicher Dauer dieser Einschränkung ist zwischen einer Überbelastung und einem Übertrainingssyndrom zu unterscheiden. Die Leistungsebene kann als Kontinuum mit fließenden Übergängen angesehen werden (vgl. Vogel, 2001). Basierend auf denjenigen Faktoren, die sportliche Leistungsfähigkeit objektiv darstellen können, muss eine individuelle Einschätzung der Situation erfolgen.

Es ist davon auszugehen, dass neben der aktuellen funktionalen Kapazität des Sportlers die Dauer einer Fehlbelastung eine entscheidende Rolle bei der Genese einer Überbelastung bzw. eines Übertrainingssyndroms spielt. Daher soll die Darstellung der bisherigen Studienergebnisse strukturiert nach zeitlicher Dauer der auf die Sportler einwirkenden Stressoren sowie nach untersuchten symptomatischen Erscheinungen erfolgen.

Ein Übertrainingssyndrom, Überbelastungen, wahrscheinlich aber auch normale und eingeplante kurzzeitige Ermüdungserscheinungen werden von symptombezogenen Veränderungen auf verschiedenen physiologischen und psychologischen Systemebenen begleitet, die wiederum allesamt über zentrale, vegetative Prozesse moduliert werden, die auf der Steuerungsebene unter der Bezeichnung ‚zentrales autonomes Netzwerk‘ zusammengefasst werden. Als solches bezeichnet Esperer (2004) die zahlreichen zentralen Kerne und Neuronenpopulationen, die efferente sympathische und vagale Signale generieren. Noakes (2000) sieht in der Veränderung zentraler Steuerungsprozesse eine mögliche Hauptursache für die Entstehung von Ermüdung und damit einen entscheidenden leistungslimitierenden Faktor.

Das dargestellte Modell geht davon aus, dass Veränderungen auf der Leistungs- und Symptomebene im sportlichen Alltag der Athleten zu einer Handlungsanpassung führen, die das Ziel haben, die negativen Anpassungserscheinungen zu kompensieren.

### 3.1 Stressoren

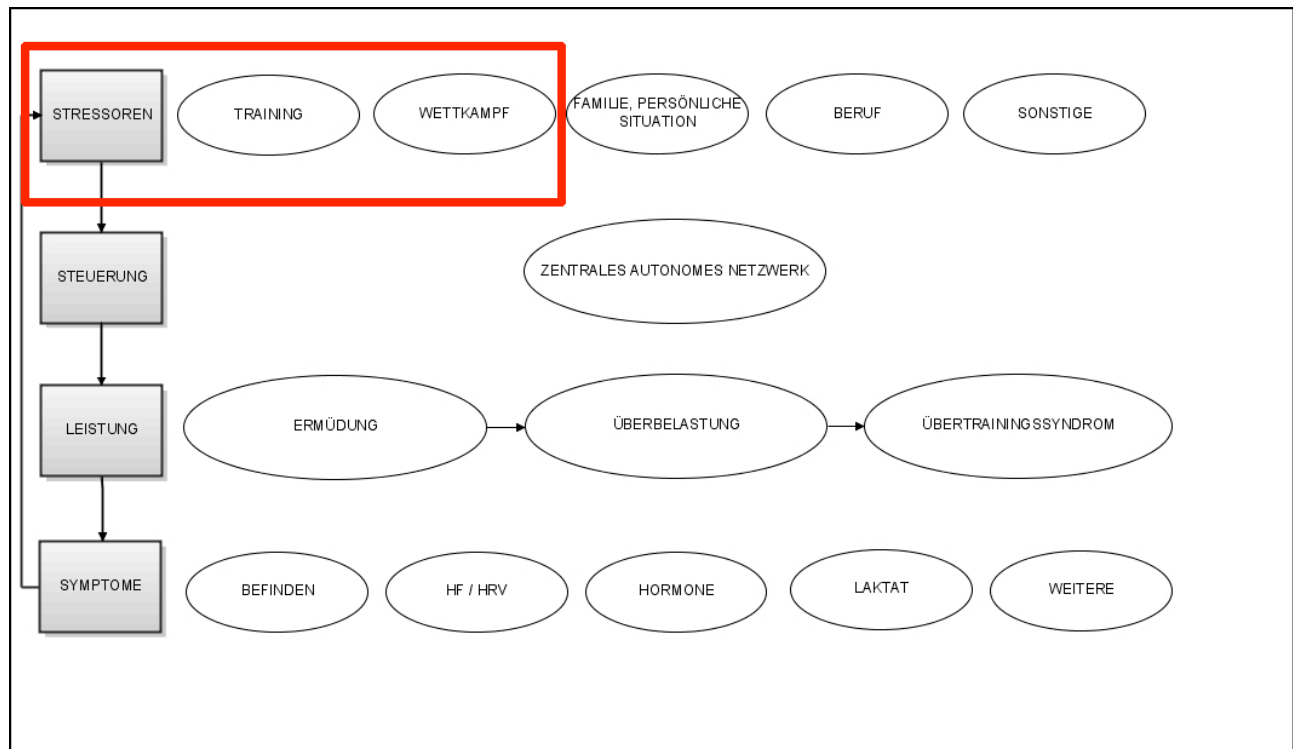


Abb. 4: Training und Wettkampf als unabhängige Variablen in bisherigen Studiendesigns

Innerhalb der zum Thema Übertraining bisher vorliegenden Studien stellen das sportliche Training und intensive Wettkampfphasen die prägnanten Faktoren auf der Ebene der wirkenden Stressoren dar. Der Einfluss dieser Belastungsfaktoren wurde methodisch auf unterschiedliche Arten untersucht, es lassen sich experimentelle und quasiexperimentelle von nichtexperimentellen Ansätzen unterscheiden. Während erstere mittels zumeist kurzfristiger experimenteller Interventionen in Form massiver Umfangs- bzw. Intensitätssteigerungen oder realer und hoch intensiver Wettkampfphasen symptomatische Veränderungen in Verbindung mit Leistungsminderungen zu erfassen suchen, verfolgt der nichtexperimentelle Ansatz das Ziel, vor allem längerfristige Anpassungen unter realistischen Trainings- und Wettkampfbedingungen nachzuweisen (vgl. MacKinnon, 2000; Moore & Fry, 2007).

Eine Reihe experimenteller Untersuchungen an Sportlern nutzte eine kurzzeitige Trainingsintervention von sechs Tagen bis zwei Wochen, um eine Leistungsminderung zu induzieren und auftretende Veränderungen gemessener Parameter zu dokumentieren (vgl. Fry, Grove, Morton, Zeroni, Gaudieri & Keast, 1994; Halson et al., 2002; Hedelin, Kenttä et al., 2000; Jeukendrup et al., 1992; Karvonen, 1992; Rietjens et al., 2005).

Über einen längeren Zeitraum durchgeführte Trainingsinterventionen von mehr als zwei bis vier Wochen lassen eine erhöhte Wahrscheinlichkeit vermuten, auch längerfristige Beeinträchtigungen der Leistungsfähigkeit beobachten zu können (vgl. Bosquet et al., 2001; Coutts, Wallace et al., 2007; Lehmann et al., 1991; Lehmann, Gastmann, Petersen, Bachl, Seidel, Khalaf, Fischer & Keul, 1992), während Trainingsinterventionen von mehr als vier Wochen auch das Auftreten eines



Übertrainingssyndroms möglich erscheinen lassen (vgl. Coutts, Reaburn et al., 2007; Garcin et al., 2002; Lehmann, Gastmann et al., 1992; Uusitalo et al., 1998; Uusitalo, Uusitalo & Rusko, 2000). Realistische Trainings- und Wettkampfbedingungen, während denen außergewöhnlich hohe Belastungsparameter vorlagen, versuchten einige Studien mittels quasiexperimentellen Ansätzen zu nutzen (vgl. Dressendorfer et al., 1985; Main et al., 2010; Moore & Fry, 2007; Nederhof et al., 2007; Slivka et al., 2010; Steinacker et al., 2000). Die zeitliche Dauer der Trainings- oder Wettkampfphasen mit Höchstbelastungen lag hier zwischen 10 Tagen und 13 Wochen. Nichtexperimentelle Beobachtungsstudien ohne a priori vordefinierte und geplante Interventionen, die langfristige Parameterveränderungen im natürlichen Umfeld der Sportler erfassen und einzelfallbezogen darstellen, sind dagegen weitaus seltener (vgl. Hooper et al., 1995; Krause & Weiß, 2002; Urhausen et al., 1998; Vogel et al., 2001). Die hier erwähnten prospektiven Beobachtungsstudien umfassten einen Beobachtungszeitraum von 6–22 Monaten.

### 3.2 Leistung

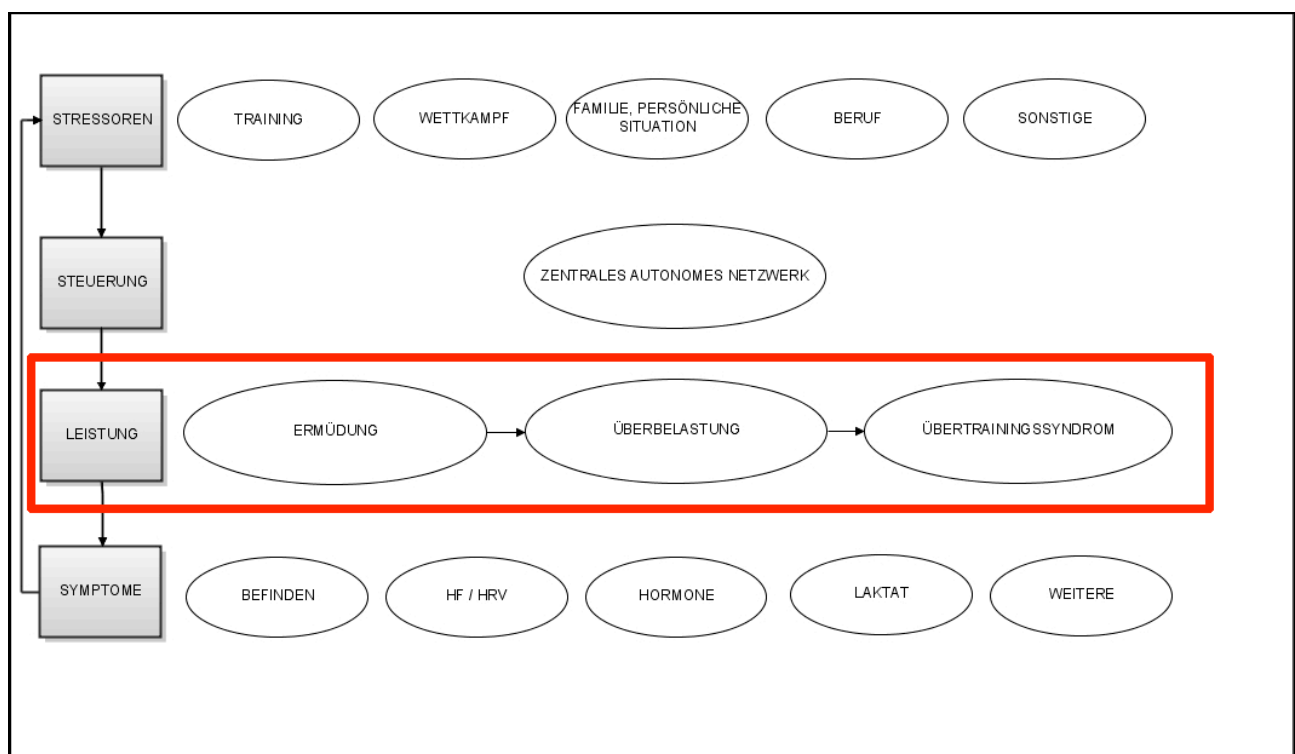


Abb. 5: Einfluss wirkender äußerer Belastungsfaktoren auf die sportliche Leistung in bisherigen Studien

Die Darstellung der vorliegenden Studienergebnisse erfolgt geordnet nach Beobachtungsstudien und (quasi-)experimentellen Untersuchungen sowie nach Beobachtungsdauer bzw. Dauer der durchgeführten Intervention. Leitfrage soll zunächst sein, inwieweit bisherige Studiendesigns erfolgreich Leistungsminderungen und damit einhergehende symptomatische Veränderungen bei Sportlern induzieren konnten. Da viele der verwendeten Diagnoseparameter Indikatoren positiver Trainingsanpassungen sein können (z. B. reduzierte submaximale Laktat- und Herzfrequenz-

werte), ist es unbedingt erforderlich, diese vor dem Hintergrund sportartspezifischer Leistungsanpassungen zu interpretieren.

Erst in den dann folgenden Kapiteln werden die Studienergebnisse, geordnet nach untersuchten Parametern und deren Veränderungen, detailliert dargestellt.

### *3.2.1 Leistungsminderungen bei Beobachtungsstudien*

Hooper et al. (1995) untersuchten 14 Schwimmerinnen und Schwimmer innerhalb eines Zeitraums von sechs Monaten während der Vorbereitungen auf die australischen Mannschaftsausscheidungen, ohne Einfluss auf die Trainingsgestaltung zu nehmen.

An insgesamt fünf Messzeitpunkten wurden Fragebögen zur Beurteilung von Schlaf, Müdigkeits- und Stressempfinden eingesetzt sowie eine Reihe physiologischer und biochemischer Parameter (Cortisol, Katecholamine, Ruheherzfrequenz, Ruhelaktat, submaximale und maximale Herzfrequenzwerte, submaximale und maximale Laktatwerte) ermittelt und schwimmspezifische Tests durchgeführt. Als Kriterien eines Übertrainingssyndroms wurden die in Kapitel 2.6 von Hooper et al. (ebenda) erwähnten Diagnoseparameter gewertet (Leistungsstagnation vom ersten zum dritten Messzeitpunkt; keine Verbesserung der persönlichen Bestzeiten bei den abschließenden Wettkämpfen; Müdigkeitsangaben über 5 auf einer Skala von 1 (very, very low) bis 7 (very, very high) an sieben aufeinanderfolgenden Tagen; Angaben über schlechte Trainingsverträglichkeit; Ausschluss von Krankheiten).

Bei drei Schwimmerinnen wurde im Verlauf der Messphase ein Übertrainingssyndrom diagnostiziert, alle genannten Diagnoseparameter wurden erfüllt. Die Leistungsminderungen bei den Schwimmtests sowie den abschließenden Wettkämpfen bewegten sich bei den betroffenen Schwimmerinnen in einem Bereich von 0,7 bis 2,4 %, während die restlichen Schwimmer Verbesserungen zwischen 1,1 und 3,1 % erzielten. Auffällige physiologische oder biochemische Parameterveränderungen blieben aus.

O'Connor et al. (1989) beobachteten 14 Schwimmerinnen der Universität Wisconsin über einen Zeitraum von insgesamt fünfeinhalb Monaten. Bei den Sportlerinnen wurde ein Übertrainingssyndrom diagnostiziert, wenn sie aufgrund gestiegener Belastungsumfänge nicht mehr in der Lage waren, ihr reguläres Trainingspensum zu absolvieren, oder Leistungsminderungen zwischen 5 und 10 % über einen Zeitraum von zwei Wochen aufwiesen. Drei Sportlerinnen erfüllten mindestens eines der genannten Kriterien. Während der Trainingsphase, in der die Diagnose gestellt wurde, wiesen die überlasteten Schwimmerinnen Veränderungen der Befindlichkeit und des Parameters Cortisol auf.

Vogel et al. (2001) beobachteten elf nichtprofessionelle Ausdauersportler über einen Zeitraum von etwa neun Monaten. Erfasst wurden Trainingsvolumen, der Quotient von effektiv absolviertem und ursprünglich geplantem Trainingspensum, die Ruheherzfrequenz am Morgen, die Herzfrequenzdifferenz stehend-liegend (Orthostasetest) sowie psychologische Parameter mittels POMS (Profile of Mood States) und EBF-Sport (Erholungs-Belastungs-Fragebogen Sport). Alle zwei Monate wurde ein Stufentest auf dem Laufband durchgeführt. Vogel et al. (ebenda) definierten a priori die in Kapitel 2.6 erwähnten Diagnoseparameter als Studienendpunkte.

Während der insgesamt 395 Beobachtungswochen kam es zu einem Leistungstest, der den Kriterien einer Überbelastung entsprach – alle vier festgelegten Kriterien wurden erfüllt und es

wurde eine Leistungsminderung beim Stufentest auf dem Laufband von 0,6 km/h bzw. 3,1 % ermittelt. Die betroffene Athletin benötigte zwei Wochen, um sich von diesem Zustand zu erholen, ohne dazu das Trainingspensum zu reduzieren – die Autoren schließen daher ein Übertrainingsyndrom aus. Als Grund für die diagnostizierte Überbelastung wurde eine berufliche Mehrbelastung genannt, die die Regeneration der Athletin negativ beeinflusste.

Krause und Weiß (2002) untersuchten acht jugendliche Wettkampfschwimmer/innen unter der Leitfrage, wie sich die unterschiedlichen Trainingsbelastungen im Jahresverlauf auf die Sportler auswirkten. Der Leistungsstand der Schwimmer wurde mithilfe des Pansold-Stufentests festgestellt. Zusätzlich wurden maximale Laktatwerte, immunologische Parameter, Hormone (Cortisol, Testosteron, Adrenalin) und Aminosäuren bestimmt, psychologische Fragebögen eingesetzt und technomotorische schwimmspezifische Elemente erfasst und ausgewertet. Die genannten Parameter wurden an insgesamt sechs Messzeitpunkten ermittelt, Diagnoseparameter wurden nicht definiert.

Die Autoren berichten von einem Absinken der Schwimmgeschwindigkeit in Phasen höchst intensiven und sehr niedrigen Trainings. Bei einer Sportlerin wurde ein Übertrainingssyndrom angenommen, es kam zu einer Verschlechterung der komplexen Wettkampfleistung bzw. der Leistung beim Pansold-Test um 4 bzw. 10 %. Die Autoren schließen jedoch nicht aus, dass die aufgetretenen Leistungsminderungen Resultat einer Erkrankung und damit einhergehender reduzierter Trainingsbelastung gewesen sein könnten.

Urhausen et al. (1998) beobachteten 17 männliche Ausdauersportler über einen Zeitraum von insgesamt neunzehn Monaten. Die Sportler wurden während insgesamt fünf zweitägigen Testphasen untersucht. Diese Testphasen inkludierten folgende Parameter:

- einen stufenförmigen Leistungstest auf dem Fahrradergometer
- zwei anaerobe Ausbelastungstests über 10 bzw. 30 Sekunden
- einen timetrial-Test bei einer Intensität von 110 % der individuellen anaeroben Schwelle
- Herzfrequenz- und Laktatwerte
- einen psychologischen Fragebogen (Eigenzustandsskala nach Nitsch)

Während des Beobachtungszeitraums waren die Teilnehmer angehalten, den Anteil hochintensiver Trainingselemente und die Anzahl der Wettkämpfe über einen selbst gewählten Zeitraum von zwei bis drei Wochen zu erhöhen, auf regenerative Tage sollte dabei verzichtet werden.

Kriterien für ein Übertrainingssyndrom waren ein Ausschluss von Krankheiten sowie eine Leistungsminderung, vermutet wurden eine verminderte Anstrengungstoleranz sowie ein erhöhtes Müdigkeitsempfinden und weitere vegetative Symptome.

Bei insgesamt 15 Untersuchungen wurde ein Übertrainingssyndrom – also eine Leistungsminderung – diagnostiziert. Diese trat in Abhängigkeit von der Art des angewendeten Leistungstests auf. Die stufenförmigen Tests sowie die beiden anaeroben Ausbelastungstests zeigten keine Veränderungen, während die Leistungsfähigkeit beim dritten Leistungstest, einem sogenannten timetrial-Test mit konstanter Intensität, durchgeführt bis zum erschöpfungsbedingten Abbruch, um durchschnittlich 27 % abfiel.

Schmikli et al. (2010) konnten in ihrer über eine Wettkampfsaison angelegten Studie auf die Daten von 15 Fußballspielern zurückgreifen, von denen sieben als Kontrollgruppe dienten und acht nach

den in Kapitel 2.6 angegebenen Diagnoseparametern Leistungsminderungen um mindestens 5 % bei zwei aufeinanderfolgenden herzfrequenzorientierten Lauftests zeigten. Die Autoren bezeichneten diese Sportler als überbelastet. Neben einer erhöhten mittleren Herzfrequenz zeigten sie signifikante Verschlechterungen einzelner Kategorien des POMS (Wut, Depression) im Vergleich zur Kontrollgruppe sowie geringere Cortisolwerte.

Die Ergebnisse sind zusammengefasst in Tabelle 3 dargestellt.

*Tab. 3: Ergebnisse vorliegender Beobachtungsstudien.*

<b>Autoren</b>	<b>Anzahl TN/Sportart</b>	<b>Dauer/Messzeitpunkte</b>	<b>Ergebnisse</b>
Krause & Weiß (2002)	n = 8 (Schwimmen)	k. A. 6 Messzeitpunkte	1 x mögliches Übertrainingssyndrom; max. lac. ↓; Befindlichkeit ↓; Ruhe-Cortisol ↑
O'Connor et al. (1989)	n = 14 (Schwimmen)	5,5 Monate	3 x Übertrainingssyndrom ('staleness'); Befindlichkeit ↓; Cortisol ↑
Hooper et al. (1995)	n = 14 (Schwimmen)	6 Monate 5 Messzeitpunkte	3 x Übertrainingssyndrom ('staleness'); Befindlichkeit ↓; Ruhe-HF →, max. HF →; submax. lac. →, max. lac. →; Müdigkeit, Muskelschmerzen ↑; keine physiologischen und blutchemischen Veränderungen
Schmikli et al. (2010)	n = 15 (Fußball, Leichtathletik)	1 Saison	8 x Überbelastung ('non-functional overreaching'); Leistungswerte mittels Intervallläufen ↓; Belastungspuls ↓; submax. HF ↑; Befindlichkeit ↓; ACTH →; Cortisol ↓
Vogel et al. (2001)	n = 11 (Ausdauer)	9 Monate 4-5 Messzeitpunkte	1 x Überbelastung mittels Leistungstest (Dauer: 2 Wochen); Befindlichkeit ↓; Orthostasetest: HF-Differenz stehend- liegend ↓, submax. HF ↓, max. HF ↓; Anstrengungsempfinden ↑; max. lac. ↓; Grund: berufliche Mehrbelastung
Urhausen et al. (1998)	n = 17 (Ausdauer)	19 Monate 5 Messzeitpunkte	15 x Übertrainingssyndrom; Anstrengungsempfinden ↑, Befindlichkeit ↓, Gefühl schwerer Beine, Muskelschmerzen, Müdigkeit, Schlafstörungen; max. lac. ↓; Ruhe-HF →, max. HF ↓ (5 S/min)

### 3.2.2 Leistungsminderungen bei (quasi-)experimentellen Studien

Die bisher vorliegenden (quasi-)experimentellen Untersuchungen unterscheiden sich in Dauer und Art der Intervention, der Anzahl der Teilnehmer, deren Trainingszustand und Sportart sowie in der Anzahl und Art der untersuchten Parameter. Die Darstellung der Ergebnisse orientiert sich an der zeitlichen Dauer der durchgeführten Interventionen bzw. ausgewählten Trainingsphasen.

Bereits kurzzeitige Überlastungen über einen Zeitraum von sechs bis zehn Tagen, durchgeführt mittels einer Erhöhung des Anteils intensiver Intervalltrainingseinheiten bei fünf gut trainierten Soldaten der australischen Armee (Fry et al., 1994) bzw. mittels deutlicher Erhöhung des Gesamtbelastungsumfangs (um 50 %) bei neun Kanuten (Hedelin, Kenttä et al., 2000), konnten signifikante Leistungsminderungen von 6 % (Hedelin, Kenttä et al., ebenda) bis knapp 30 % (Fry et al., ebenda) im Vergleich zu Eingangstests dokumentieren. Diese gingen mit signifikanten physiologischen, blutchemischen und psychologischen Veränderungen einher. Die von Fry et al. (ebenda) untersuchten Soldaten erzielten bei einem zweiten, am fünften Regenerationstag durchgeführten Leistungstest Ergebnisse, die lediglich um 2 % unterhalb des Eingangsniveaus lagen.

Da den Interventionen nachfolgende Regenerationsphasen entweder fehlten (Hedelin, Kenttä et al., 2000) oder sehr kurz waren (Fry et al., 1994), sind Aussagen über vorliegende Überbelastungen, die über eine normale trainingsbegleitende Ermüdung hinausgehen, kaum möglich. Die Autoren sprechen daher von einem Ermüdungszustand oder einer Überbelastung (Hedelin, Kenttä et al., 2000) bzw. recht allgemein von einem „Übertrainingszustand“ (Fry et al., 1994).

Karvonen (1992) verzichtete in seiner einwöchigen Studie nicht nur auf Regenerationsphasen, sondern auch auf die Durchführung von Leistungstests und orientierte sich an einem willkürlich festgelegten Erholungspuls, um eine Überbelastung zu diagnostizieren. Sechs der 15 untersuchten Sportler wurden aufgrund dieses diagnostischen Kriteriums als überbelastet bezeichnet.

Jeukendrup et al. (1992) und Halson et al. (2003) wählten einen insgesamt sechswöchigen Untersuchungszeitraum und eine zwei Wochen andauernde Interventionsphase mit deutlich erhöhten Anteilen hochintensiver Trainingsinhalte – bei Halson et al. (2003) wurde der Umfang intensiver Einheiten bei täglich durchgeführtem Training um 100 % gesteigert. Beide Untersuchungen wurden an Radsportlern ( $n = 7$ ,  $n = 8$ ) durchgeführt und dokumentierten signifikante Leistungsminderungen von 4-10 % bei allen Teilnehmern. Halson et al. (2003) konnten abhängig von der Art des durchgeführten Leistungstests einen Abfall der Leistungsfähigkeit um 5-10 % in Verbindung mit einem gesteigerten Anstrengungsempfinden bereits nach einer Woche Intervention nachweisen. Bei Jeukendrup et al. (1992) betrugen die Leistungsminderungen unabhängig von der Art der Leistungstests 4 % im Vergleich zu einem durchgeführten Eingangstest. Bei fünf von sieben Teilnehmern traten diese ebenso bereits nach einer Woche Intervention auf.

Beide Untersuchungen konnten deutliche physiologische und psychologische Parameterveränderungen nachweisen, immunologische Anpassungen blieben jedoch aus (vgl. Halson et al., 2003). Im Verlauf einer zweiwöchigen Regenerationsphase normalisierten sich die Leistungsparameter bei den von Halson et al. (2003) untersuchten Teilnehmer auf das Eingangsniveau, bei den von Jeukendrup et al. (1992) untersuchten Sportlern kam es teilweise zu Leistungssteigerungen über das Eingangsniveau hinaus. Beide Autorengruppen stellten die Diagnose Überbelastung. Halson et al. (2003) stützten sich dabei auf die dokumentierten Leistungsminderungen unmittelbar nach der Interventionsphase und Veränderungen der Fragebogen-

ergebnisse (DALDA, POMS) in Bezug auf Befindlichkeit, Müdigkeit und Gesundheitsstatus, Jeukendrup et al. (1992) orientierten sich an den in Kapitel 2.6 dargelegten Diagnoseparametern. Costill et al. (1988), Dupuy, Renaud, Bherer und Bosquet (2010) sowie Rietjens et al. (2005) konnten trotz zehntägiger bzw. zweiwöchiger Interventionen und einer Erhöhung des Belastungsumfangs um 100 bzw. 110 %, durchgeführt mit zwölf hochtrainierten Schwimmern, zehn Ausdauersportlern bzw. sieben gut trainierten Radfahrern, keinerlei Leistungsminderungen induzieren. Rietjens et al. (2005) argumentierten dennoch retrospektiv, dass ein erhöhtes Anstrengungsempfinden bei den Leistungstests im Anschluss an die Intervention vor dem Hintergrund des erhöhten Belastungsumfangs für eine Überbelastung spräche. Costill et al. (1988) dokumentierten trotz ausbleibender Leistungsminderungen Veränderungen maximaler und submaximaler Herzfrequenzwerte, submaximaler Laktatwerte sowie reduzierte Muskelglykogenspeicher. Tabelle 4 stellt die Ergebnisse der Studien dar, die bis zu zwei Wochen lange Interventionen nutzten.

*Tab. 4: Ergebnisse experimenteller Studien mit bis zu 2 Wochen andauernden Interventionen.*

<b>Autoren</b>	<b>Anzahl TN/Sportart</b>	<b>Dauer/Art der Belastungserhöhung</b>	<b>Ergebnisse</b>
Hedelin, Kenttä et al. (2000)	n = 9 (Kanu)	6 Tage Belastungsumfang plus 50 %	Ermüdung oder Überbelastung, Leistung ↓ (6 %); VO <sup>2</sup> max. ↓; max. lac. ↓ (minus 14 %); submax. HF ↓ (5-8 S/min), max. HF ↓ (5-8 S/min); Cortisol ↓; HRV →; Katecholamine →
Karvonen (1992)	n = 15 (Ausdauer)	1 Woche intensivierte Training	6 x 'Overtraining'; Erholungs-HF nach Belastung ↑; Verhältnis Testosteron : Cortisol ↓ (30 %)
Fry et al. (1994)	n = 5 (Soldaten)	10 Tage 2 x täglich intensive Intervall-trainingseinheiten	Übertrainingszustand, Leistung ↓ (29 %) nach 10 Tagen, Erholung nach 5 Tagen Regeneration; Müdigkeit ↑; einzelne immunologische Parameter außerhalb der Norm (Interleukin-2); Befindlichkeit ↓; submax. lac. →, max. lac. →; max. HF →, submax. HF ↑, Ruhe-HF ↓ (7 S/min)
Costill et al. (1988)	n = 12 (Schwimmen)	10 Tage Belastungsumfang plus 110 %	Leistung →; max. HF ↓ (6 S/min), submax. HF ↓ (5 S/min); submax. lac. ↓ (minus 47 %); Muskelglykogen ↓
Dupuy et al. (2010)	n = 10 (Ausdauer)	2 Wochen Belastungsumfang plus 100 %	Leistung →; VO <sup>2</sup> max. →; Befindlichkeit →; max. HF →; Reaktionstests →

<b>Autoren</b>	<b>Anzahl TN/Sportart</b>	<b>Dauer/Art der Belastungserhöhung</b>	<b>Ergebnisse</b>
Halsen et al. (2002), Halsen et al. (2003)	n = 8 (Radsport)	2 Wochen intensiviertes Training	Überbelastung, Leistung ↓ (5-10 %), Leistung nach 2 Wochen normalisiert; max. HF ↓ (15 S/min), submax. HF →, Ruhe-HF →; Katecholamine →, Ammoniak →, Harnstoff →, Fettstoff-, KH-Stoffwechsel →; Befinden ↓; VO <sup>2</sup> max. ↓; Anstrengungsempfinden ↑; submax. lac. →, max. lac. →
Jeukendrup et al. (1992)	n = 7 (Radsport)	2 Wochen hochintensives Inter- valltraining	Überbelastung, Leistung ↓ (4 % – Superkompensation nach 2 Wochen Regeneration); submax. HF ↓, max. HF ↓ (7 S/min), submax. lac. ↓, max. lac. ↓ (42 %), HF nachts ↑ (4 S/min), Ruhe- HF →; Befindlichkeit ↓; Reaktionszeit →
Rietjens et al. (2005)	n = 7 (Radsport)	2 Wochen Belastungsumfang plus 100 % Belastungsintensität plus 15 %	Überbelastung, Leistung →; Befinden →; max. lac. →; Hormone →; max. HF →; VO <sup>2</sup> max. →; Reaktionszeit bei komplexen Aufgaben im Vergleich zu Kontrollgruppe schlechter; Anstrengungsempfinden ↑

Mittels längerfristiger Trainingsinterventionen von mehr als zwei- und bis zu vierwöchiger Dauer konnten sowohl Slivka et al. (2010) und Steinacker et al. (2000) mit quasiexperimentellen Ansätzen als auch Billat, Flechet, Petit, Muriaux und Koralsztein (1999), Snyder et al. (1995), Verde, Thomas und Shephard (1992), Lehmann, Baumgartl et al. (1992) und Lehmann et al. (1991) trotz unterschiedlicher Vorgehensweisen, den Gesamtbelastungsumfang des Trainings zu erhöhen (Steigerung des Belastungsumfangs, Steigerung der Belastungsintensität oder beides), keine signifikanten Leistungsminderungen bei Ausdauersportlern bzw. jungen Leistungskanuten nachweisen. Zeitweise kam es am Ende der Interventionsphase gar zu Steigerungen der Leistungsfähigkeit (Lehmann et al., 1991; Slivka et al., 2010). Die von Slivka et al. (2010) durchgeführte Studie beinhaltete zwei Ruhetage, die den Teilnehmer möglicherweise ausreichend Zeit für Erholung bot. Diejenigen Teilnehmer, die mehr als zwei diagnoserelevante Parameterveränderungen während des Untersuchungszeitraums zeigten, wiesen im Gegensatz zu den asymptomatischen Teilnehmern eine signifikant geringere maximale Sauerstoffaufnahme-fähigkeit auf. Auch die Untersuchungen von Lehmann, Baumgartl et al. (1992) beinhalteten einen Tag, an dem sich die Teilnehmer erholen konnten. Die Autoren fanden dennoch heraus, dass die Leistungsfähigkeit der untersuchten Sportler im Anschluss an die Intervention über mehrere Monate stagnierte und die subjektiven Wahrnehmungen und Äußerungen der Sportler auf ein Übertrainingssyndrom hinwiesen (vgl. Lehmann, Gastmann et al., 1992; Lehmann, Schnee et al., 1992).

Steinacker et al. (2000) diagnostizierten Überbelastungen bei Ruderern unmittelbar nach einer Phase intensivierten Trainings während der Vorbereitungen auf eine Weltmeisterschaft. Zwar wurden keine signifikanten Leistungsminderungen bei einem ruderspezifischen Ausbelastungstest festgestellt und bei einem durchgeführten stufenförmigen Ergometertest kam es gar zu Leistungs-

steigerungen, aber ein beeinträchtigt Befinden der Sportler sowie tendenziell schlechtere Leistungen bei genanntem Rudertest reichten den Autoren für die Diagnose aus. Nach einer folgenden einwöchigen Regenerationsphase und bei der anschließenden Weltmeisterschaft zeigten alle Ruderer deutlich verbesserte Leistungen im Vergleich zu den Eingangswerten.

Leistungsminderungen nach drei- bzw. vierwöchigen Interventionen stellten Bosquet et al. (2001) sowie Coutts, Wallace et al. (2007) fest. Die genannten Untersuchungen wurden ausschließlich mit Ausdauersportlern durchgeführt ( $n = 10$ ,  $n = 8$ ) und nutzten vor allem deutliche Erhöhungen des Belastungsumfangs. Es kam dabei zu physiologischen und psychologischen Parameterveränderungen, wobei die von Bosquet et al. (2001) erfassten physiologischen Parameter auch bei solchen Sportlern Veränderungen zeigten, die keine signifikanten Leistungsminderungen zu verzeichnen hatten. Eindeutiger und vor allem einheitlich waren die Verläufe der untersuchten psychologischen Parameter.

Bosquet et al. (ebenda) diagnostizierten anhand der von Hooper et al. (1995) dargelegten Kriterien bei sieben der zehn untersuchten Sportler ein Übertrainingssyndrom und bei den drei weiteren eine Überbelastung, jedoch zeigten nur diejenigen vier Sportler deutliche Leistungsminderungen, bei denen ein Ausbelastungstest mit konstanter Intensität (85 % der bei einem stufenförmigen Ausbelastungstest erreichten maximalen Geschwindigkeit), ein sogenannter timetrial-Test, eingesetzt wurde. Nach der Interventionsphase kam es zu einer Reduzierung der Leistung um 20 %, nach der darauffolgenden zweiwöchigen Regenerationsphase gar um 25 %, wobei im Vergleich zum Eingangstest lediglich die Leistungsminderung beim dritten Test signifikant ausfiel. Bei sechs Sportlern, die einen Stufentest absolvierten, traten keine Leistungsminderungen auf, dennoch zeigten sich bei diesen Teilnehmern ähnliche Veränderungen der maximalen Herzfrequenz. Die maximalen Laktatwerte der als überbelastet diagnostizierten Sportler dagegen unterschieden sich von den Werten derjenigen Sportler, bei denen ein Übertrainingssyndrom dokumentiert wurde, signifikant.

Coutts, Wallace et al. (2007) induzierten Leistungsminderungen von ca. 4 % bei sechs von acht gut trainierten Triathleten über einen Zeitraum von vier Wochen. Nach einer systematisch geplanten zweiwöchigen Taperingphase kam es zu einer signifikanten Leistungssteigerung im Vergleich zum Eingangsniveau. Die Autoren gehen von aufgetretenen Überbelastungen aus. Auffällige Parameterveränderungen konnten nicht dokumentiert werden.

Die Ergebnisse solcher Studien, die sich länger als zweiwöchige und bis vierwöchige Interventionen zunutze machten, sind in Tabelle 5 zusammengefasst.



Tab. 5: Ergebnisse experimenteller Studien mit 2–4 Wochen andauernden Interventionen.

Autoren	Anzahl TN/Sportart	Dauer/Art der Belastungserhöhung	Ergebnisse
Snyder et al. (1995)	n = 8 (Radsport)	15 Tage Erhöhung Anteile intensiven Intervalltrainings, Belastungsumfang plus 44 %	Überbelastung bei allen 8 TN, Leistung →; Muskelglykogen →; VO <sup>2</sup> max. ↓ (5 %); Ruhe-HF →, submax. HF ↓, max. HF ↓; Ruhelaktat →, submax. lac. → (in den niedrigen Intensitätsbereichen ↓), max. lac. → (leicht erniedrigt); Anstrengungs- empfinden →; Cortisol ↓; Müdigkeits- angaben ↑
Steinacker et al. (2000)	n = 10 (Rudern)	18 Tage Belastungsumfang plus 130 %	Überbelastung, Leistung → (time trial 2000m), Leistung bei Stufentest ↑, Leistung nach Tapering ↑; Steroidhormone während hoher Belastung ↓ (Normalisierung während Tapering); Befinden ↓; max. lac. →
Verde et al. (1992)	n = 10 (Ausdauer)	3 Wochen Belastungsumfang plus ca. 38 %	Leistung →; Ruhe-HF →, max. HF ↓; Befindlichkeit ↓; Cortisol in Ruhe →; weitere immunologische Verän- derungen
Lehmann et al. (1991) Lehmann, Baumgartl et al. (1992), Lehmann, Gastmann et al. (1992), Lehmann, Schnee et al. (1992)	n = 8 (Ausdauer)	3 Wochen Belastungsumfang plus 100 %	„Überlastung“, Leistung → (tenden- zielle Verschlechterung bei 6/8 Sport- lern nach 4 Wochen, dauerhafte Stagnation der Leistung der TN über 3 Monate); VO <sup>2</sup> max. →; Müdigkeit ↑; submax. lac. →, max. lac. ↓ (minus 23 %); submax. HF → (tendenziell erniedrigt), max. HF ↓ (minus 6 S/min), Ruhe-HF →; Kortisol ↓; basale nächtl. Katecholaminausscheidung ↓ (minus 70 %); Ammoniak ↓, Glukose ↓
Lehmann, Baumgatl et al. (1992), Lehmann, Gastmann et al. (1992)	n = 9 (Ausdauer)	3 Wochen Erhöhung intensiver Trainingsinhalte um 150 %	Leistung ↑; nächtl Katecholaminaus- scheidung ↓, Kortisol →; Ruhe-HF →, submax. HF →, max. HF →
Slivka et al. (2010)	n = 8 (Radsportler)	3 Wochen Belastungsumfang plus 418 %	Leistung →; Testosteron →, Cortisol →; Befindlichkeit →; Ruhe-HF →, submax. HF →

<b>Autoren</b>	<b>Anzahl TN/Sportart</b>	<b>Dauer/Art der Belastungserhöhung</b>	<b>Ergebnisse</b>
Bosquet et al. (2001)	n = 10 (Ausdauer)	3 Wochen Belastungsumfang plus 100 %	7 x Übertrainingssyndrom, 3 x Überbelastung, Leistung ↓ (time trial 20-25 %); submax., max. lac. ↓ (16 % bei bei Übertrainingssyndrom), Müdigkeit ↑; max. HF ↓ (10 S/min, unabhängig von Leistungsminderung)
Billat et al. (1999)	n = 8 (Ausdauer)	4 Wochen Erhöhung des Umfangs intensiven Intervalltrainings	Leistung →; Ruhe-HF →, max. HF →, submax. HF ↓; max. lac. →; Befinden →
Coutts, Wallace et al. (2007), Coutts, Slaterry & Wallace (2007)	n = 8 (Triathlon)	4 Wochen deutliche Erhöhung des Belastungsumfangs	Überbelastung, Leistung ↓ (4 %, Superkompensation nach Regeneration); Hämoglobin ↓; Harnstoff ↑; Befinden ↓; Hormone →; submax. HF ↓, max. HF →; submax. lac. →, max. lac. →

Auch über einen Zeitraum von mehr als vier Wochen durchgeführte Interventionen führen nicht zwangsläufig zu Leistungsminderungen. Garcin et al. (2002) untersuchten acht hochtrainierte Ausdauersportler vor sowie nach einer achtwöchigen intensivierten Trainingsphase mit fünf Mal wöchentlich durchgeführtem Training und stellten weder Leistungsminderungen noch physiologische Parameterveränderungen fest. Die Autoren schließen dennoch nicht aus, dass die aufgetretenen Leistungsstagnationen als Überbelastung zu bewerten seien und verweisen auf ein gesteigertes Anstrengungsempfinden bei den Leistungstests nach der Intervention.

Ähnliche Ergebnisse zeigte eine Untersuchung von Main et al. (2010), die Leistungssteigerungen bei Ruderern nach einer achtwöchigen und höchst umfangreichen Vorbereitungsphase auf die Weltmeisterschaften 2007 nachweisen konnten. Signifikante Veränderungen der Befindlichkeit und Konzentration unterschiedlicher Zytokine sowie ein Anstieg von Stresssymptomen blieben aus.

Lehmann, Knizia et al. (1993) stellten Leistungssteigerungen bei sechs kaum trainierten Freizeitsportlern nach sechs Wochen Training auf dem Fahrradergometer an jeweils sechs Wochentagen (jeweils ca. 30–35 Minuten) fest. Nach einer folgenden zweiwöchigen Regenerationsphase konnten die Autoren Leistungsminderungen nachweisen, die Sportler hatten nun ihr ursprüngliches Leistungsniveau wieder erreicht, welches 10 % unter den direkt nach der Intervention ermittelten Werten lag. Die Autoren vermuten eine verringerte Motivation der Teilnehmer bei den abschließenden Tests, gehen aber dennoch davon aus, dass diese ein Übertrainingssyndrom entwickelt hatten. Weitere signifikante Parameterveränderungen wurden nicht festgestellt.

Coutts, Reaburn, Piva und Murphy (2007) diagnostizierten Leistungsminderungen mittels Kraft- und sportartspezifischen Fitnesstests in Verbindung mit physiologischen und biochemischen Veränderungen nach einer über sechs Wochen andauernden progressiven Steigerung des Belastungsumfangs des durchgeführten Rugbytrainings um mehr als 100 % bei allen sieben teilnehmenden Rugbyspielern. Die Leistungsminderung beim ausgewählten mehrstufigen Fitnesstest (MSFT: Multi Stage Fitness Test) betrug im Mittel ca. 12 %. Nach einer einwöchigen Taperingphase folgten Leistungssteigerungen über das Eingangsniveau hinaus. Die Autoren

bezeichnen die Sportler als überbelastet, nennen jedoch kein Kriterium, an welchem sie sich zwecks dieser Kategorisierung orientieren.

Uusitalo et al. (1998) verfolgten dahingehend einen innovativen Ansatz, als dass die durchgeführte Studie erst mit der Diagnose eines Übertrainingszustands oder mit dem Abbruch durch die Teilnehmer endete. Die Autoren stellten bei fünf von neun Ausdauersportlerinnen nach sechs bis neun Wochen täglichen und stetig intensivierten Trainings Leistungsminderungen fest, die anhand der Werte für die maximale Sauerstoffaufnahmequantifiziert wurden. Bei den überbelasteten Sportlerinnen kam es zu keinen signifikanten physiologischen Veränderungen – mit Ausnahme der submaximalen und maximalen Herzfrequenzwerte – sowie zu individuell höchst unterschiedlichen Anpassungen der hormonellen Parameter. Auch wurden psychologische Veränderungen registriert, diese aber unabhängig von den aufgetretenen Leistungsminderungen. Die Autoren bezeichnen die Sportler mit Leistungsminderungen allgemein als „übertrainiert“ und stützen sich auf explizit genannte Diagnoseparameter (vgl. Kapitel 2.6).

Moore und Fry (2007) untersuchten neun American Football Spieler mittels eines quasi-experimentellen Ansatzes über insgesamt 13 Trainingswochen, die vor allem aus Krafttrainingseinheiten und sportartspezifischem Training bestanden. Es kam dabei lediglich kurzzeitig zu Leistungsminderungen und zu Anpassungen der Testosteronwerte während einer Trainingsphase, die keine Leistungsminderungen aufwies.

Tabelle 6 gibt einen Überblick über diejenigen Studien, die länger als vier Wochen andauernde Interventionen einsetzten.

*Tab. 6: Ergebnisse experimenteller Studien mit länger als 4 Wochen andauernden Interventionen.*

<b>Autoren</b>	<b>Anzahl TN/Sportart</b>	<b>Dauer/Art der Belastungserhöhung</b>	<b>Ergebnisse</b>
Lehmann, Knizia et al. (1993)	n = 6 (Freizeitsportler)	6 Wochen 6 x wöchentliches Training nach der Dauer- und Intervallmethode	Übertrainingssyndrom, Leistung ↑ (nach 6 Wochen Intervention, Leistung nach Reg.-Phase auf Eingangsniveau); submax. lac. ↓; Ruhe HF →, submax. HF, max. HF →; Hormone in Ruhe →
Coutts, Reaburn et al. (2007)	n = 7 (Rugby)	6 Wochen Belastungsumfang plus 100 % Saisonvorbereitung	Überbelastung, Leistung ↓ (12 %, sportartspez. Test + Kraft), Superkompensation nach Regeneration VO <sub>2</sub> max. ↓; Verhältnis Testosteron : Cortisol ↓; Kreatinkinase ↑; max. HF ↓ (9 S/min), max. lac. →

<b>Autoren</b>	<b>Anzahl TN/Sportart</b>	<b>Dauer/Art der Belastungserhöhung</b>	<b>Ergebnisse</b>
Uusitalo et al. (1998)	n = 9 (Ausdauer)	6-9 Wochen Belastungsumfang plus 100 % Belastungsintensität plus 130 %	5 x ‚Übertrainingszustand‘, Leistung ↓ (bei 56 % = 5/9); Katecholamine →, Cortisol bei max. Belastung ↓ (nach 4 Wochen Training); VO <sup>2</sup> max. ↓ (4-9 % bei n = 5); max. HF ↓ (4 S/min bei n = 5), submax. HF ↓ (n = 9), Ruhe-HF → (n = 9), HRV → (n = 9); max. lac. →; Befinden ↓ (n = 9)
Garcin et al. (2002)	n = 8 (Ausdauer)	8 Wochen 5 x wöchentliches Training	Autoren gehen von möglicher Überbelastung aus, Leistung →, VO <sup>2</sup> max. →; submax. HF →, max. HF →; submax. lac. →, max. lac. →; Anstrengungsempfinden ↑
Moore und Fry (2007)	n = 9 (American Football)	4 Wochen + 5 Wochen + 4 Wochen intensiviertes Kraft- und Footballtraining	Leistungsparameter teilweise →, teilweise ↑; Hormone → (Testosteron kurzzeitig ↓)
Main et al. (2010)	n = 8 (Rudern)	8 Wochen umfangreiches und tägliches Ausdauertraining zur Vorbereitung auf die WM 2007	Leistung ↑; Cytokine →; Befind- lichkeit und Stressparameter →

### 3.3 Symptome

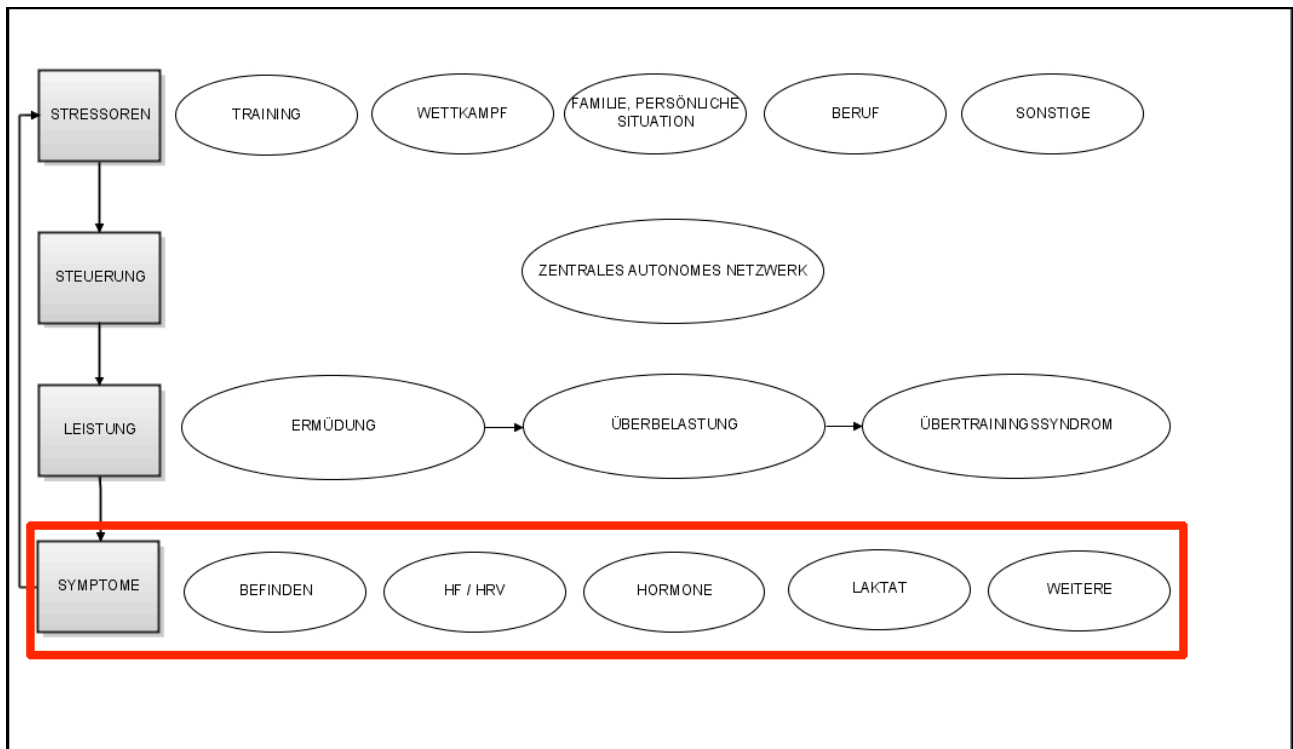


Abb. 6: In bisherigen Studien dokumentierte symptomatische Veränderungen

Innerhalb der beschriebenen Übertrainingsstudien wurde eine Reihe biochemischer, psychologischer, kardiologischer und physiologischer Parameter untersucht, die auf der Symptomebene Veränderungen anzeigen könnten, die Leistungsminderungen vorausgehen oder diese begleiten. Die in bisherigen Studien dokumentierten symptomatischen Anpassungen werden in den folgenden Kapiteln geordnet nach den Parametern Herzfrequenz, Herzfrequenzvariabilität, Laktat und Befindlichkeit dargestellt. Im Anschluss werden die Studienergebnisse in Bezug auf weitere untersuchte Parameter kurz zusammengefasst. Einleitend werden jeweils entsprechende physiologische Grundlagen dargelegt, die das Verständnis für die Interpretation der Studienergebnisse erleichtern sollen.

#### 3.3.1 Herzfrequenz

##### 3.3.1.1 Physiologische Grundlagen

Die Herzfrequenz eines untrainierten Erwachsenen beträgt in Ruhe etwa 60–90 Schläge pro Minute (de Marées, 2003), bei körperlicher Arbeit steigt dieser Wert auf ca. 180–200 Schläge pro Minute an (Klinke et al., 2005).

Ausgangspunkt für die rhythmische Kontraktion des Herzens ist der an der dorsalen Wand des rechten Vorhofes liegende Sinusknoten mit seinen schrittmacherkompetenten Zellen, der mit einer Frequenz von ca. 60–90 Impulsen pro Minute – Hoos (2009) und MacArdle, Katch und Katch (1991) gehen von 100 Impulsen pro Minute aus – Aktionspotenziale generiert (de Marées, 2003;

Hottenrott, 2002b), die fächerförmig über die Vorhöfe ausgebreitet werden (Esperer, 2004; Hottenrott, 2002b; Klinker et al., 2005). Über den AV-Knoten, dem aufgrund einer Abnahme der Leitungsgeschwindigkeit an dieser Stelle die Funktion eines Frequenzsiebs zugeschrieben wird, erfolgt eine Weiterleitung der nun wieder schneller werdenden Erregung über das His-Bündel in die Endverzweigungen des Erregungsleitsystems (vgl. Hottenrott, 2003, 2002a). Die Herzmuskulatur beantwortet die Aktionspotentiale des Sinusknotens mit rhythmischen Kontraktionen gleicher Frequenz (de Marées, 2003).

Fällt der Sinusknoten, der auch als primärer Schrittmacher bezeichnet wird, aus, übernimmt der AV-Knoten mit einer Eigenfrequenz von 40–50 Schlägen pro Minute dessen Funktion (Klinker et al., 2005). Der Sinusknoten kann als Multi-Inputsystem angesehen werden, dessen intrinsische Aktivität durch mechanische Faktoren, Hormone sowie das autonome Nervensystem beeinflusst wird (Esperer, 2004; vgl. Berntson, Bigger, Eckberg, Grossmann, Kaufmann, Malik, Nagaraja, Porges, Saul, Stone & van der Molen, 1997).

„Das autonome Nervensystem entfaltet seine Einflussnahme auf das Herz durch die efferenten Aktivitäten von Sympathikus und Parasympathikus, die über cholinerge und adrenerge Rezeptoren auf den Sinusknoten wirken“ (Hoos, 2009, S. 277).

Das Herz passt seine Förderleistung an den Sauerstoffbedarf des Organismus an. Eine Stimulation des Nervus vagus führt zu einer erhöhten Freisetzung von Acetylcholin, einer erhöhten K<sup>+</sup>-Leitfähigkeit an der postsynaptischen Zellmembran (Horn, 2003) und damit zu einer Abnahme der Schrittmacherfrequenz im Sinusknoten sowie zu einer Verminderung der Anstiegssteilheit im Aktionspotenzial (vgl. Esperer, 2004). Die damit verbundene Verzögerung der Erregungsausbreitung von den Vorhöfen auf die Ventrikel führt zu einem Absinken der Herzfrequenz (Klinker et al., 2005). De Marées (2003, S. 44) bezeichnet daher die Abnahme der Herzfrequenz in Phasen der Ruhe als „Ausdruck der Verschiebung der vegetativen Tonuslage in Richtung auf eine erhöhte Parasympathikotonie“. Im Gegensatz dazu führt eine Stimulation des Sympathikus zu einer Veränderung der Leitfähigkeit an den Ca<sup>2+</sup> Kanälen (Horn, 2003), einem Anstieg der diastolischen Depolarisation am Sinusknoten sowie zu einer Beschleunigung der Anstiegssteilheit des Aktionspotenzials am AV-Knoten, was die Überleitung vom Vorhof auf die Ventrikel beschleunigt (Klinker et al., 2005). Neben einer Steigerung der Herzfrequenz bewirkt der Sympathikus eine gesteigerte Kontraktionskraft (ebenda).

### 3.3.1.2 Erklärungsmechanismen für Veränderungen der Herzfrequenz

Erhöhte Ruheherzfrequenzwerte werden also mit einer erhöhten Sympathikusaktivität und einem schlechteren Trainingszustand in Verbindung gebracht (Berkalk & Bauer, 2001; Bosquet et al., 2001; vgl. Hickson, Hagberg, Ehsani & Holloszy, 1981; Katona, McLean, Dighton & Guz, 1982), eine reduzierte Ruheherzfrequenz beim trainierten Sportler wird dagegen häufig als Resultat einer Leistungssteigerung im Ausdauerbereich (vgl. Iwasaki, Zhang, Zuckerman & Levine, 2003; Tulppo, Hautala, Mäkilä, Laukkanen, Nissilä, Hughson & Huikuri, 2003) infolge einer gesteigerten Aktivität des Nervus vagus und einer reduzierten Aktivität des Sympathikus bei konstantem Herzzeitvolumen angesehen (vgl. Berkalk, 1999).

Sandercock und Brodie (2006, S. 303) verweisen jedoch darauf, dass erniedrigte Ruheherzfrequenzwerte bei trainierten Sportlern nicht zwangsläufig mit einem erhöhten Parasympathiko-

tonus zu erklären seien: "This view is not, however, universally accepted and contradictory evidence to refute this claim also exists". Auch alternative, z. B. humorale, Erklärungen für durch sportliches Training ausgelöste Bradykardie finden daher Erwähnung (vgl. Aubert et al., 2003). Earnest, Jurca, Church, Chicharro, Hoyos und Lucia (2004) nennen mit Verweis auf Kuipers und Keizer (1988) und Lehmann, Foster et al. (1993) eine Erschöpfung des neuroendokrinen Systems oder ein Absinken der Katecholaminsensitivität als Gründe für Veränderungen der Ruheherzfrequenz. Der Einfluss des Parasympathikus – und Sympathikus – wird jedoch vielfach als wichtigster Einflussfaktor genannt (vgl. Berbalk & Bauer, 2001; Goldsmith, Bigger, Bloomfield & Steinman, 1997).

Katona et al. (1982) nennen folgende drei Faktoren, die eine reduzierte Herzfrequenz verursachen können:

- eine Reduzierung der durch den Sinusknoten generierten Aktionspotentiale
- ein verminderter Sympathikotonus (vgl. Zavorsky, 2000)
- ein erhöhter Parasympathikotonus (vgl. Zavorsky, 2000)

Durch eine über längeren Zeitraum erhöhte Arbeitsbelastung des Herzens kann es zusätzlich zu strukturellen Veränderungen des Herzmuskels in Form einer Herzhypertrophie kommen. Beim trainierten Sportler sind typischerweise das diastolische Ventrikelvolumen und das Schlagvolumen in Ruhe erhöht. Zavorsky (2000) nennt daher weitere Mechanismen, die zu Anpassungen der Ruheherzfrequenz und Veränderungen der maximalen Herzfrequenz führen können, z. B.:

- eine Zunahme des Blutvolumens
- eine gesteigerte Baroreflex-Funktion
- eine Zunahme des Herzvolumens
- eine verminderte Anzahl und Dichte  $\beta$ -adrenerger Rezeptoren
- Veränderungen im myokardialen Zellmetabolismus
- elektrophysiologische Veränderungen des Sinusknotens

Kuipers und Keizer (1988) gehen grundsätzlich davon aus, dass Kapazität und Funktion des kardiovaskulären Systems durch ein Zuviel an Belastung beeinträchtigt sind. Anpassungen der Ruheherzfrequenz aufgrund einer Überbelastung oder eines Übertrainingssyndroms stehen daher in direktem Zusammenhang mit Veränderungen des autonomen Nervensystems als zentraler Steuerungseinheit (vgl. Lehmann et al., 1991; Lehmann, Foster et al., 1993). Da auch die Zunahme der Förderleistung des Herzens entscheidend von der Aktivierung des Sympathikus und seiner herzkraft- und herzfrequenzsteigernden Wirkung abhängt, sollte dies ebenso für Veränderungen der submaximalen und maximalen Herzfrequenz als Folge einer Fehlbelastung bzw. Überlastung gelten. Meeusen et al. (2006) vermuten u. a. eine reduzierte Aktivität des sympathischen Anteils des autonomen Nervensystems als ursächlich wirkenden Faktor bei reduzierten maximalen Herzfrequenzwerten. Veränderungen der Herzfrequenzwerte während eines Übertrainingssyndroms schreiben auch Lehmann et al. (1991) vor allem Veränderungen der sympathischen Aktivität zu (vgl. Baumert et al., 2006; Uusitalo et al., 1998).

Meeusen et al. (2006) verweisen allerdings auf die Möglichkeit, dass auch schlicht eine reduzierte maximale Leistungsfähigkeit bei übertrainierten Sportlern für niedrigere maximale Herzfrequenzwerte verantwortlich sein könnte (vgl. Halson & Jeukendrup, 2004), zumal eine starke Korrelation zwischen Veränderungen der maximalen Herzfrequenz sowie Veränderungen der maximalen Sauerstoffaufnahmefähigkeit zu bestehen scheint (Zavorsky, 2000). Letztgenannte Autoren gehen davon aus, dass es durch sportliches Training zu Anpassungen der maximalen Herzfrequenz zwischen 3 % und 7 % und zu Veränderungen der submaximalen Herzfrequenz zwischen 10 und 20 Schlägen pro Minute kommen kann.

Veränderungen der Ruheherzfrequenz von 2 bis 4 Schlägen pro Minute treten als normale Tag-zu-Tag-Variation dagegen häufig auf (Achten & Jeukendrup, 2003; vgl. Bosquet, Merkari, Arvisais & Aubert, 2008).

### 3.3.1.3 Bisherige Studienergebnisse Herzfrequenz

Studien, die mittels Trainingsinterventionen Leistungsminderungen bei Sportlern induzierten, konnten unabhängig von der Dauer der durchgeführten Intervention um durchschnittlich 4–15 Schläge pro Minute reduzierte maximale Herzfrequenzwerte dokumentieren (Bosquet et al., 2001; Coutts, Reaburn et al., 2007; Halson et al., 2002; Hedelin, Kenttä et al., 2000; Jeukendrup et al., 1992; Snyder et al., 1995; Urhausen et al., 1998; Uusitalo et al., 1998; Vogel et al., 2001). Lediglich Fry et al. (1994) und Coutts, Wallace et al. (2007) konnten keine Veränderungen der maximalen Herzfrequenz bei Soldaten im „Übertrainingszustand“ trotz deutlicher Leistungsminderungen von knapp 30 % bzw. bei Triathleten nach vierwöchigem intensiven Training mit geringfügigen Leistungsminderungen von 4 % feststellen.

Auch submaximale Herzfrequenzwerte zeigten sich häufig reduziert (Bosquet et al., 2001; Hedelin, Kenttä et al., 2000; Jeukendrup et al., 1992; Uusitalo et al., 1998; Vogel et al., 2001), vereinzelt aber auch unverändert (Coutts, Reaburn et al., 2007; Halson et al., 2002) oder erhöht (Fry et al., 1994; Schmikli et al., 2010).

Ruheherzfrequenzwerte wurden weit weniger häufig ermittelt, Veränderungen konnten im Zusammenhang mit Leistungsminderungen zumeist nicht nachgewiesen werden (Halson et al., 2002; Jeukendrup et al., 1992; Snyder et al., 1995; Urhausen et al., 1998; Uusitalo et al., 2000; Vogel et al., 2001). Baumert et al. (2006) jedoch dokumentierten bei zehn erfahrenen Leichtathleten und Triathleten um durchschnittlich 6 Schläge pro Minute gesteigerte Ruheherzfrequenzwerte, die mit einer Leistungsminderung im Anschluss an ein dreizehntägiges Trainingslager einhergingen. Nach einer drei- bis viertägigen Regenerationsphase normalisierten sich die Werte wieder. Fry et al. (1994) wiesen reduzierte Ruheherzfrequenzwerte im Zusammenhang mit Leistungsminderungen bei Soldaten im Anschluss an eine zehntägige Intervention nach. Jeukendrup et al. (1992) stellten erhöhte nächtliche Herzfrequenzwerte bei sieben überbelasteten Radsportlern fest.

Traten im Verlauf einer Trainingsintervention keine Leistungsminderungen auf, blieben die maximalen Herzfrequenzwerte unabhängig von der Dauer der Intervention häufig konstant (Billat et al., 1999; Garcin et al., 2002; Lehmann, Gastmann et al., 1992; Lehmann, Knizia et al., 1993; Rietjens et al., 2005; Uusitalo et al., 1998), einige Studien jedoch konnten Veränderungen nachweisen.



Lehmann, Baumgartl et al. (1992) beispielsweise dokumentierten trotz ausbleibender Leistungsminderungen reduzierte maximale Herzfrequenzwerte bei acht Ausdauersportlern, die im Anschluss an die Intervention eine lang andauernde Leistungsstagnation zeigten und daher von den Autoren als überlastet bezeichnet wurden. Ähnliche Ergebnisse stellten Bosquet et al. (2001) bei sechs Ausdauersportlern fest, die bei einem durchgeführten Stufentest konstante Maximalleistungen erzielten und dennoch um 10 Schläge pro Minute reduzierte maximale Herzfrequenzwerte aufwiesen (vgl. Coutts, Reaburn et al., 2007; Verde et al., 1992). Costill et al. (1988) dokumentierten eine um 6 Schläge pro Minute reduzierte maximale Herzfrequenz bei hochtrainierten Schwimmern nach einer zehntägigen Trainingsintervention mit konstanter Schwimmleistung, jedoch deutlich reduzierten Muskelglykogenspeichern. Saldanha, Zavorsky und Montgomery (1997) konnten um 10 Schläge pro Minute reduzierte maximale Herzfrequenzwerte bei Radsportlern in Verbindung mit Leistungssteigerungen nach siebenwöchigem Training feststellen, Verde et al. (1992) leicht reduzierte Werte bei neun von zehn Ausdauersportlern nach drei Wochen erhöhtem Belastungsumfang.

Snyder et al. (1995) stellten verminderte maximale Herzfrequenzwerte in Abhängigkeit von der Art der Ausbelastung fest. Wurde ein Stufentest angewandt, zeigten die von den Autoren als übertrainiert bezeichneten Radsportler reduzierte Werte, bei wettkampfspezifischen Radtests im Freien blieb die maximale Herzfrequenz konstant.

Submaximale Herzfrequenzwerte zeigten wenig einheitliche Veränderungen. In einigen Studien blieben diese konstant (Lehmann, Gastmann et al., 1992; Lehmann, Knizia et al., 1993; Slivka et al., 2010), in einigen Studien wurden reduzierte Werte nachgewiesen (Billat et al., 1999; Bosquet et al., 2001; Costill et al., 1988; Lehmann, Baumgartl et al., 1992; Snyder et al., 1995; Uusitalo et al., 1998).

Die Ruheherzfrequenzwerte dagegen blieben einheitlich konstant (Billat et al., 1999; Lehmann, Baumgartl et al., 1992; Lehmann, Gastmann et al., 1992; Lehmann, Knizia et al., 1993; Portier, Louisy, Laude, Berthelot & Guézennec, 2001; Slivka et al., 2010; Uusitalo et al., 1998; Verde et al., 1992). Pichot, Busso, Roche, Garet, Costes, Duverney, Lacour und Barthélémy (2002) allerdings dokumentierten deutlich reduzierte nächtliche Herzfrequenzwerte bei sechs vormals inaktiven Menschen nach zweimonatigem intensivem Training, welches mit einer Leistungssteigerung einherging. Eine folgende vierwöchige Überlastung der Teilnehmer führte zu keinerlei weiteren Veränderungen der nächtlichen Herzfrequenz, die im Anschluss an eine zweiwöchige Regenerationsphase weiter abnahm.

Zusätzlich zu den genannten Studien existieren eine Reihe von Untersuchungen, die den Einfluss hoher Trainings- oder Wettkampfbelastungen auf die Ruheherzfrequenz zu ermitteln versuchten, ohne jedoch Angaben zu Leistungsparametern zu machen.

In einer Feldstudie fanden Dressendorfer et al. (1985) erhöhte Ruheherzfrequenzwerte bei zwölf Ultramarathonläufern, die an einem 500- km Rennen über zwanzig Tage teilnahmen, verstärkt in den letzten beiden Wettkampfwochen. Vom achten bis zum letzten Wettkampftag kam es zu einem Anstieg der Ruheherzfrequenz um durchschnittlich 10 Schläge pro Minute. Earnest et al. (2004) konnten dagegen keine Veränderungen der Ruheherzfrequenz bei acht professionellen Radsportlern während der Spanienrundfahrt 2001 feststellen.

Winsley, Battersby und Cockle (2005) setzten 20 aktive und inaktive Frauen einer zweiwöchigen Überlastung aus, fanden jedoch keine Veränderungen der Ruheherzfrequenz während der Intervention und der darauf folgenden Regenerationsphase. Auch Atlaoui, Pichot, Lacoste, Barale, Lacour und Chatard (2007) fanden keinen Zusammenhang zwischen Trainingsbelastung und Ruheherzfrequenz bei 13 Schwimmerinnen und Schwimmern während vier Wochen intensivierten und drei Wochen reduzierten sportlichen Trainings, ebenso wie Portier et al. (2001) nach zwölf Wochen intensiven Trainings bei acht hochtrainierten Ausdauersportlern. Iellamo, Legramante, Pigozzi, Spataro, Norbiato, Lucini und Pagani (2002) untersuchten sieben Mitglieder der italienischen Juniorennationalmannschaft im Rudern über eine Saison und verglichen Normwertbestimmungen zu Beginn mit drei weiteren Messungen, die während Trainingsphasen mit hoher (75 %) bzw. maximaler (100 %) Gesamtbelastung durchgeführt wurden. Die Sportler trainierten während der Phase mit maximaler Belastung täglich und mit einem Umfang von 26–30 Stunden pro Woche. Die Autoren dokumentierten eine Abnahme der durchschnittlichen Ruheherzfrequenzwerte um 6 Schläge pro Minute bei der dritten Messung (75 %) sowie eine Zunahme der Werte um 5 Schläge pro Minute bei der vierten Messung (100 %), jeweils verglichen mit der Normwertbestimmung zu Beginn der Saison.

Längerfristige Beobachtungsstudien, die auf experimentelle Interventionen verzichteten, wiesen unterschiedliche Ergebnisse nach. Während einer sechs Monate andauernden Untersuchung konnten Hooper et al. (1995) keine Veränderungen der maximalen Herzfrequenz- und Ruheherzfrequenzwerte bei Sportlern feststellen, die während der Beobachtungsdauer aufgrund von Leistungsminderungen als überbelastet bezeichnet wurden. Auch Urhausen et al. (1998), die während ihrer neunzehnmonatigen Beobachtungsstudie 15 Mal eine Überbelastung bei Sportlerinnen diagnostizierten, konnten keine entsprechenden Veränderungen der Ruheherzfrequenz und submaximalen Herzfrequenz feststellen, allerdings um 5 Schläge pro Minute reduzierte maximale Herzfrequenzwerte. Vogel et al. (2001) dokumentierten während einer neunmonatigen Studie einen Fall einer Überbelastung, der mit einer reduzierten submaximalen und maximalen Herzfrequenz einherging. Außerdem konnten die Autoren eine deutliche Verminderung der Herzfrequenzdifferenz während eines Orthostasetests nachweisen. Die Ruheherzfrequenzwerte der Sportlerin blieben konstant.

Studien, die als überbelastet diagnostizierte Sportler als Teilnehmer gewinnen konnten, sind selten. Hynynen et al. (2008) verglichen Ruheherzfrequenzwerte von zwölf Sportlern, bei denen ein Übertrainingssyndrom diagnostiziert wurde, mit den Werten einer Kontrollgruppe, fanden jedoch keine signifikanten Unterschiede. Hedelin, Wiklund et al. (2000) verglichen die Ruheherzfrequenz eines übertrainierten Skilangläufers mit vorliegenden Werten vor Auftreten der Leistungsminderung sowie den Werten nach einer zweimonatigen Regenerationsphase. Es konnten keine signifikanten Veränderungen der Herzfrequenz festgestellt werden. Dennoch gehen die Autoren davon aus, dass eine geringfügige Abnahme der Ruheherzfrequenz um 3 Schläge pro Minute auf eine gesteigerte parasymphatische Aktivität hinweist.

Mittels einer Metaanalyse fassten Bosquet et al. (2008) die Ergebnisse von insgesamt 120 Studien zusammen. Ziel der Analyse war es, Herzfrequenzveränderungen während Überlastungsphasen

systematisch zu kategorisieren und darzustellen. Die Autoren fanden bei Interventionen, die bis zu zwei Wochen andauerten, unabhängig von auftretenden Leistungsminderungen einen moderaten Abfall der maximalen Herzfrequenzwerte, einen moderaten Anstieg der Ruheherzfrequenzwerte und keine Veränderungen der submaximalen Herzfrequenzwerte. Bei länger als zwei Wochen andauernden Interventionen stellten die Autoren, wiederum unabhängig von Leistungsmin- derungen, keine Veränderungen der Ruheherzfrequenzwerte, einen leichten Abfall der submaxi- malen Herzfrequenzwerte sowie einen leichten Abfall der maximalen Herzfrequenzwerte fest. Bisherige Studienergebnisse zur Herzfrequenz sind, geordnet nach der Dauer der durchgeführten Intervention, in Tabelle 7 zusammengefasst.

*Tab. 7: Tabellarischer Überblick über bisherige Studienergebnisse zur Herzfrequenz.*

<b>Autoren</b>	<b>Anzahl TN/Sportart</b>	<b>Dauer Intervention/Art Belastungserhöhung</b>	<b>Ergebnisse</b>
Hedelin, Kenttä et al. (2000)	n = 9 (Kanu)	6 Tage Belastungsumfang plus 50 %	max. HF ↓ (5-8 S/min), submax. HF ↓ (5-8 S/min)
Costill et al. (1988)	n = 12 (Schwimmen)	10 Tage Belastungsumfang plus 100 %	max. HF ↓ (6 S/min), submax. HF ↓ (5 S/min)
Fry, Morton, Garcia-Webb, Crawford & Keast (1992)	n = 5 (Soldaten)	10 Tage 2 x täglich Intervall- trainingseinheiten	Ruhe-HF. ↓ (7 S/min), max. HF →, submax. HF ↑
Baumert et al. (2006)	n = 10 (Leichtathletik, Triathlon)	13 Tage	Ruhe-HF ↑ (6 S/min)
Dupuy et al. (2010)	n = 10 (Ausdauer)	2 Wochen Belastungsumfang plus 100 %	maximale HF →
Halsen et al. (2002)	n = 8 (Radsport)	2 Wochen intensiviertes Training	max. HF ↓ (15 S/min), sub- max. HF →, Ruhe-HF →
Jeukendrup et al. (1992)	n = 7 (Radsport)	2 Wochen hochintensives Intervalltraining	max. HF ↓ (7 S/min), submax. HF ↓, HF nachts ↑ (4 S/min), Ruhe-HF →
Rietjens et al. (2005)	n = 7 (Radsport)	2 Wochen Belastungsumfang plus 100 % Belastungsintensität plus 15 %	max. HF →
Winsley et al. (2005)	n = 20 (aktive und inaktive Frau- en)	2 Wochen tägliches 40 minütiges Training	Ruhe-HF →

<b>Autoren</b>	<b>Anzahl TN/Sportart</b>	<b>Dauer Intervention/Art Belastungserhöhung der</b>	<b>Ergebnisse</b>
Snyder et al. (1995)	n = 8 (Radsport)	15 Tage Erhöhung Anteile intensiven Intervalltrainings, Belastungsumfang plus 44 %	Ruhe-HF →, submax. HF ↓, max. HF ↓ (Stufentest), max. HF → (timetrial-Test)
Dressendorfer et al. (1985)	n = 12 (Ausdauer)	20 Tage Ultramarathonrennen über 500 Kilometer	Ruhe-HF → signifikanter Anstieg der Ruheherzfrequenz zwischen Tag 8 und Tag 20 um 10 S/min
Bosquet et al., 2001)	n = 10	3 Wochen Belastungsumfang plus 100 %	max. HF ↓ (10 S/min), submax. HF ↓
Lehmann, Baumgartl et al. (1992); Lehmann et al. (1991)	n = 8 (Ausdauer)	3 Wochen Belastungsumfang plus 100 %	max. HF ↓ (6 S/min), submax. HF → (tendenziell erniedrigt), Ruhe-HF →
Lehmann, Gastmann et al. (1992)	n = 9 (Ausdauer)	3 Wochen Erhöhung intensiver Trainingsan- teile um 150 %	max. HF →, submax. HF →, Ruhe-HF →
Pichot, Roche, Gaspaz, Enjol- ras, Antoniadis, Minini, Costes, Busso, Lacour & Barthélémy (2000)	n = 7 (Ausdauer)	3 Wochen intensivierte Training	nächtliche Herzfrequenz ↑ (4 S/min)
Slivka et al., 2010)	n = 8 (Radsport)	3 Wochen Erhöhung Belastungsumfang um 418 %	max. HF →, submax. HF →, Ruhe-HF →
Verde et al. (1992)	n = 10 (Ausdauer)	3 Wochen Erhöhung Belastungsumfang um ca. 38 %	max. HF ↓ (4 S/min), Ruhe- HF →
Atlaoui et al. (2007)	n = 13 (Schwimmen)	4 Wochen intensivierte Training	Ruhe-HF →
Billat et al. (1999)	n = 8 (Ausdauer)	4 Wochen Erhöhter Umfang intensiven Inter- valltrainings	Ruhe-HF →, submax. HF ↓, max. HF →
Coutts, Wallace et al. (2007)	n = 8 (Triathlon)	4 Wochen intensivierte Training	submax. HF ↓, max. HF → (tendenziell erniedrigt)

<b>Autoren</b>	<b>Anzahl TN/Sportart</b>	<b>Dauer Intervention/Art Belastungserhöhung der</b>	<b>Ergebnisse</b>
Coutts, Reaburn et al., (2007)	n = 7 (Rugby)	6 Wochen Belastungsumfang plus 100 %	max. HF ↓ (9 S/min)
Lehmann, Knizia et al. (1993)	n = 6 (Freizeit- sport)	6 Wochen 6 x wöchentliches Training nach der Dauer- und Intervallmethode	max. HF →, submax. HF →, Ruhe-HF →
Uusitalo et al. (1998)	n = 9	6-9 Wochen Belastungsumfang plus 100 % intensive Trainingsinhalte plus 130 %	max. HF ↓ (4 S/min), submax. HF ↓, Ruhe-HF →
Garcin et al. (2002)	n = 8 (Ausdauer)	8 Wochen 5 x wöchentliches Training	max. HF →
Pichot et al. (2002)	n = 6 (inaktiv)	2 Monate intensives Training 1 Monat Überlastung	nächtliche HF ↓ (10 S/min) (nach intensivem Training und nach Überlastung) nächtliche HF ↓ (14 S/min) nach Regeneration
Portier et al. (2001)	n = 8 (Ausdauer)	3 Monate	Ruhe-HF →
Hooper et al. (1995)	n = 14 (Schwim- men)	6 Monate	keine Veränderungen Herz- frequenz
Vogel et al. (2001)	n = 11 (Ausdauer)	9 Monate	max. HF ↓, submax. HF ↓, Ruhe-HF → (bei einer überbelasteten Sportlerin)
Iellamo et al. (2002)	n = 7 (Rudern)	9 Monate	Ruhe-HF ↓ (Belastungsum- fang 75 %) Ruhe-HF ↑ (Belastungsum- fang 100 %)
Schmikli et al. (2010)	n = 8 (Fußball, Leichtathle- tik)	1 Wettkampfsaison	submax. HF ↑
Urhausen et al. (1998)	n = 17	19 Monate	max. HF ↓ (5 S/min), Ruhe- HF →
Hedelin, Wiklund et al. (2000)	n = 1	einmalige Messungen	Ruhe-HF vor, während und nach Ausbildung eines ÜTS →
Hynynen et al. (2008)	n = 24	einmalige Messungen	keine Unterschiede Ruhe- HF zwischen Sportlern mit ÜTS und Kontrollgruppe

Autoren	Anzahl TN/Sportart	Dauer Intervention/Art der Belastungserhöhung	Ergebnisse
Bosquet et al. (2008)	n = 189-244	Metaanalyse	Studien < 2 Wochen: Ruhe-HF ↑, submax. HF →, max. HF ↓ Studien > 2 Wochen: Ruhe-HF →, submax. HF ↓, max. HF ↓
Earnest et al., (2004)	n = 8 (Radsport)	3 Messungen Ruheherzfrequenz vor und während der Spanien- rundfahrt 2001	Ruhe-HF →

### 3.3.1.4 Diskussion der Studienergebnisse zur Herzfrequenz

Die Herzfrequenz eines Sportlers ist ein einfach zu bestimmender Parameter, der in der sportlichen Praxis häufig in der Trainingssteuerung Verwendung findet. Fraglich ist jedoch, ob Veränderungen einzelner Herzfrequenzparameter im Zusammenhang mit Überbelastungen präventiv nutzbar sind. Die vorherrschenden Meinungen zu diesem Aspekt sind vielfältig.

Hollander et al. (1995), Israel (1976), Kayser und Gremion (2004), Kuipers und Keizer (1988), Lehmann, Foster et al. (1993) sowie Uusitalo (2001) bringen Veränderungen der Ruheherzfrequenz – also eine Zu- oder Abnahme – mit einem Zuviel an Training in Verbindung, Gleeson (1998), Hackney, Pearman und Nowacki (1990), Hendrickson und Verde (1994) sowie Dressendorfer et al. (1985) erachten vor allem eine Zunahme der Ruheherzfrequenz als kritisch (vgl. Adams & Kirkby, 2001; Falsetti et al., 1983; Janssen, 2001; Karvonen, 1992).

Dressendorfer et al. (1985) gehen davon aus, dass eine erhöhte morgendliche Ruheherzfrequenz durch wiederholte Überlastungen im Langzeitausdauerbereich ausgelöst wird. Sie bezeichnen Veränderungen der Ruheherzfrequenz als validen Marker für eine Überbelastung oder ein Übertrainingssyndrom und definieren einen Anstieg von 10 Schlägen pro Minute im Vergleich zu einem ermittelten Normwert als kritisch (vgl. Hottenrott, 2003).

Ähnlich argumentieren Bottomley (1989), Karvonen (1992) und Gleeson (1998), der allerdings die nächtliche Herzfrequenz während des Schlafes als aussagekräftiger erachtet (vgl. Jeukendrup et al., 1992; Kayser & Gremion, 2004).

Den genannten Ansichten widerspricht MacKinnon (2000), der darauf hinweist, dass bisher kein empirischer Nachweis gelungen sei, dass Überbelastungen mit Veränderungen der morgendlichen Ruheherzfrequenz einhergingen (vgl. Achten & Jeukendrup, 2003). Auch Bosquet et al. (2008) argumentieren, dass Veränderungen der Ruheherzfrequenz zwar möglicherweise symptomatische Begleiterscheinungen kurzfristiger Ermüdung, nicht jedoch einer Überbelastung oder eines Übertrainingssyndrom darstellten.

Urhausen und Kindermann (2002b) weisen darauf hin, dass ein Anstieg der Ruheherzfrequenz oder auch der submaximalen Herzfrequenz eine Infektion oder entleerte Glykogenspeicher anzeigen und damit auf eine reduzierte Belastbarkeitstoleranz schließen lassen könnten, die letztendlich zur Entwicklung eines Übertrainingssyndroms führen könne (vgl. Costill et al., 1988). Die Autoren gehen an anderer Stelle davon aus, dass die Ruheherzfrequenz nicht als

Diagnoseparameter für die Erkennung eines Übertrainingssyndroms geeignet sei (Urhausen & Kindermann, 2000).

Bosquet et al. (2008) halten Veränderungen submaximaler Herzfrequenzwerte für geeigneter, länger anhaltende Ermüdungszustände und damit möglicherweise eine Überbelastung oder ein Übertrainingssyndrom anzeigen zu können (vgl. Uusitalo, 2001). Israel (1976), der davon ausgeht, dass die submaximale Herzfrequenz eine konstante Kenngröße darstellt, sieht bereits Veränderungen von 4 Schlägen pro Minute bei einer vorgegebenen Belastungsintensität als interpretationswürdig an. Jedoch kommt es auch im Zusammenhang mit Leistungssteigerungen zu deutlichen Veränderungen der submaximalen Herzfrequenz (Zavorsky, 2000), sodass die Interpretation der Veränderungen vor dem Hintergrund des aktuellen Leistungszustandes erfolgen muss.

Die vorliegenden Untersuchungsergebnisse zeigen, dass ein Absinken der submaximalen Herzfrequenzwerte zumeist dann auftritt, wenn auch die maximale Herzfrequenz reduziert ist. Reduzierte maximale Herzfrequenzwerte wiederum treten im Zusammenhang mit Überbelastungen oder Übertrainingssyndrom, aber auch als Folge intensiven Trainings ohne auftretende Leistungsminderung, häufig auf.

Bosquet et al. (2008) gehen davon aus, dass ein Absinken der maximalen Herzfrequenz einen potenziellen Indikator für eine Überbelastung bzw. ein Übertrainingssyndrom darstellt (vgl. Achten & Jeukendrup, 2003; Kayser & Gremion, 2004; Pearce, 2002). MacKinnon (2000) schätzt mit Verweis auf Studien und Arbeiten von Lehmann, Schnee et al. (1992), Snyder et al. (1995) und Zavorsky (2000), dass die maximale Herzfrequenz bei überbelasteten Sportlern um 5–10 Schläge pro Minute erniedrigt ist. Ein geringerer Abfall von nur 3–5 Schlägen pro Minute ist nach Ansicht von Urhausen und Kindermann (2002a, S. 122) „nur bei Vorliegen häufiger Vergleichsmessungen unter standardisierten Bedingungen verwertbar“.

Zavorsky (2000) verweist allerdings auf elf Studien, die allesamt eine Abnahme der maximalen Herzfrequenz durch aerobes Ausdauertraining in Verbindung mit einer erhöhten Leistungskapazität ( $\text{VO}_2 \text{ max.}$ ) der Sportler dokumentierten (vgl. Brorson, Conradson, Olsson & Varnauskas, 1976; Convertino, 1983; Costill et al., 1988; Hartley, Grimby, Kilbom, Nilsson, Astrand, Bjure, Ekblom & Saltin, 1969; Karvonen, Kentala & Mustala, 1957; Mier, Turner, Ehsani & Spina, 1997; Rowell, Taylor & Wang, 1964; Sadaniantz, Yurgalevitch, Zmuda & Thompson, 1996; Saldanha et al., 1997; Spina, Ogawa, Martin, Coggan, Holloszy & Ehsani, 1992; Spina, Ogawa, Kohrt, Martin, Holloszy & Ehsani, 1993) und geht von einem moderaten Effekt aeroben Ausdauertrainings auf die maximale Herzfrequenz aus (vgl. Lester, Sheffield & Reeves, 1967; Lester, Sheffield, Trammell & Reeves, 1968). Zavorsky (2000) argumentiert im Hinblick auf Untersuchungen, die keine Veränderungen der maximalen Herzfrequenz durch sportliches Training nachweisen konnten, dass individuelle und möglicherweise genetisch unterschiedliche Anpassungsmechanismen an sportliche Belastung zu widersprüchlichen Ergebnissen führen könnten. Diese sind zudem beeinflusst vom Alter der untersuchten Sportler (vgl. Londeree & Moeschberger, 1982).

Abschließend bleibt zu bedenken, dass eine Verminderung der maximalen Herzfrequenz letztlich auch das Resultat einer reduzierten Belastungszeit sein kann, ohne dass dies zwangsläufig als Indiz für eine Überbelastung oder ein Übertrainingssyndrom angesehen werden muss (vgl. Meeusen et al., 2006).

Die mit Überbelastungen assoziierten Veränderungen der maximalen Herzfrequenz erscheinen vor diesem Hintergrund im Hinblick auf die Verwertbarkeit als Diagnosekriterium unbedingt in Beziehung zur maximalen Leistungskapazität und zum durchgeführten Gesamtbelastungsumfang der untersuchten Sportler gesetzt werden zu müssen. Die Vielfältigkeit bisheriger Studienergebnisse lässt zudem vermuten, dass die Interpretation von Herzfrequenzwerten nur vor dem Hintergrund individueller Normwerte, am Einzelfall orientiert und unter Berücksichtigung des persönlichen Leistungsverlaufs über verschiedene Belastungsphasen hinweg erfolgen kann. Submaximale, maximale sowie nächtliche Herzfrequenzveränderungen könnten möglicherweise weniger störanfällig und damit aussagekräftiger als die Ruheherzfrequenz sein (vgl. Achten & Jeukendrup, 2003).

### 3.3.2 *Herzfrequenzvariabilität*

#### 3.3.2.1 Physiologische Grundlagen

Die Herzfrequenz unterliegt spontanen Veränderungen der Herzperiodendauern, die im Elektrokardiogramm an den unterschiedlichen Abständen der R-Zacken zu erkennen sind. Die Herzfrequenzvariabilität (HRV) beschreibt diese zeitliche Veränderung der Herzfrequenz, also die Variabilität der Schlag-zu-Schlag-Schwankungen, über einen vorgegebenen Messzeitraum (vgl. Achten & Jeukendrup, 2003; Hoos, 2009). Eine große Variation der Herzperiodendauern zeigt eine ausgeprägte Herzfrequenzvariabilität an und wird mit einer hohen maximalen Sauerstoffaufnahmefähigkeit in Verbindung gebracht (Achten & Jeukendrup, 2003; Atlaoui et al., 2007) sowie mit einer erhöhten parasympathischen Aktivität, während eine erhöhte sympathische Aktivität mit einer eingeschränkten Herzfrequenzvariabilität assoziiert wird (Berbalk, 1999; Berbalk & Bauer, 2001). Die Herzfrequenzvariabilität gilt als ein Indikator sowohl für die Funktionalität kardiovaskulärer Regelkreise als auch für das Anpassungsvermögen des autonomen Nervensystems (Berntson et al., 1997; Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology, 1996; vgl. Arvey & Hofmann, 2001; Hoos, 2009; Hottenrott, 2002b; Mourot, Bouhaddi, Perrey, Cappelle, Henriët, Wolf, Rouillon & Regnard, 2004). Über verschiedene Parameter der HRV lassen sich sympathische und parasympathische Einflüsse bestimmen, da die spontane Änderung der Herzaktivität der neuronalen Aktivität des autonomen Nervensystems zugeschrieben wird (Berntson et al., 1997; Klinker et al., 2005; vgl. Horn, 2003), allerdings „ohne dass dieser vermutete Zusammenhang bisher jemals eindeutig objektiviert werden konnte“ (Platen, Nüsser, Krüger, Wöstmann, Gelhaar, Schulz, Hartmann, Bartmus, Grabow & Heck, 2002, S. 96). Die Impulse der efferenten Herznerven Parasympathikus und Sympathikus üben einen stark modulierenden Effekt auf den kardialen Taktgeber, den Sinusknoten, aus (Berntson et al., 1997; Esperer, 2004; Hoos, 2009). Die Signalübertragung am Sinusknoten erfolgt bei Sympathikusreizung über den Transmitter Noradrenalin, nach einer Latenz von 1-2 Sekunden kommt es zu einem Herzfrequenzanstieg, der erst nach 30 bis 60 Sekunden sein Maximum erreicht (Esperer, 2004; vgl. Hottenrott, 2002b). Bei Vagusreizung erfolgt die Signalübertragung über den Transmitter Acetylcholin und es kommt bereits nach einer Latenz von 150 ms zu einer Änderung der Herzfrequenz. Auf diese Weise kann der Vagus im Gegensatz zum Sympathikus die Aktivität des Sinusknotens auf einer Schlag-zu-Schlag-Basis modulieren (Esperer, 2004; Hottenrott, 2002b).



Zu jedem Zeitpunkt wirken sowohl sympathische als auch parasympathische (vagale) Stimuli auf den Sinusknoten, sodass eine Mischung aus kurzen beschleunigten und längeren verlangsamten Phasen entsteht, die sich als Variabilität des Herzfrequenzsignals manifestieren (vgl. Esperer, 2004). Auf diese Weise wird die Herzfrequenz an die Bedürfnisse des Gesamtorganismus und unterschiedliche Bedingungen (Ruhe, Schlaf, somatische und psychomentele Aktivität) angepasst – das Herz schlägt dementsprechend unregelmäßig.

Langfristiges Ausdauertraining führt zu einer signifikanten Erhöhung der Gesamtvariabilität der Herzfrequenz und zu einer Zunahme der parasympathisch modulierten HRV-Parameter in Ruhe (Hoos, 2009; König et al., 2003; vgl. Baumert et al., 2006; Goldsmith et al., 1997; Mouroto et al., 2004; Pichot et al., 2002; Tulppo et al., 2003; Sandercock, Bromley & Brodie, 2005; Sandercock & Brodie, 2006), wobei einige Untersuchungen widersprüchliche Ergebnisse zeigen (Atlaoui et al., 2007; Melanson, 2000; Pichot et al., 2002; vgl. Portier et al., 2001; Reland, Ville, Wong, Gauvrit, Kervio & Carré, 2003).

Abbildung 7 zeigt vereinfacht die Einflussnahme von Sympathikus und Parasympathikus auf die Herzfrequenz(variabilität).

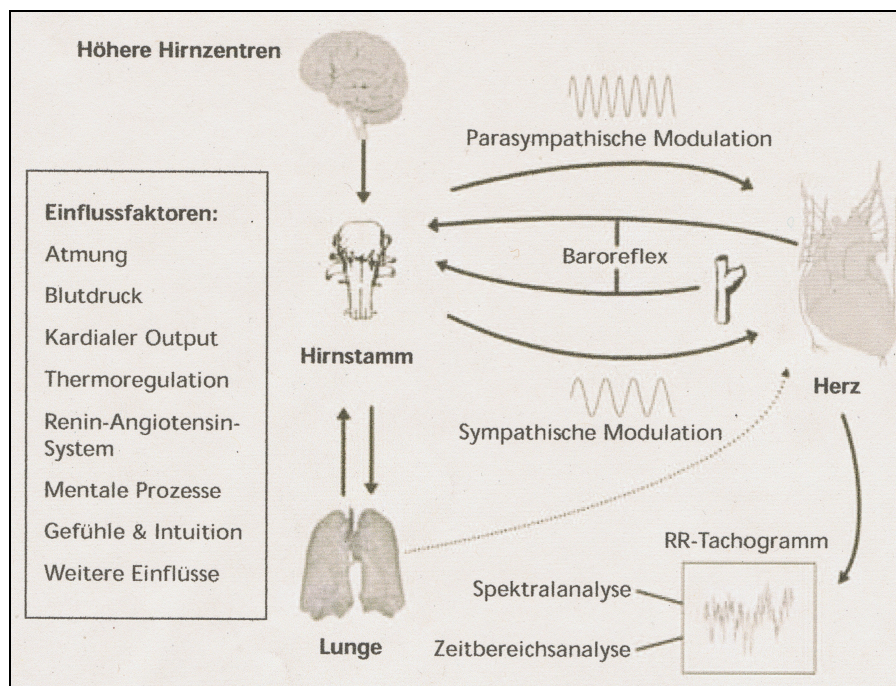


Abb. 7: Einflussnahme des Vegetativums auf die Herzfrequenzvariabilität (Hoos, 2006, S. 30)

Als wichtige Einflussfaktoren der Herzfrequenzvariabilität gelten die Baroreflexaktivität sowie die respiratorische Sinusarrhythmie (RSA). Nach Hoos (2009) reguliert die Barorezeptorenaktivität fortlaufend über einen negativen Feedback-Mechanismus und eine kardiovaskuläre Integration im Hirnstamm den mittleren arteriellen Blutdruck. Sogenannte Mechanorezeptoren, die ihren Ursprung in den arteriellen Barorezeptoren des Aortenbogens sowie in den kardiopulmonalen Barorezeptoren der Herzhöfe, Herzkammern und pulmonalen Gefäße haben, registrieren stationäre Druckspannungen sowie Spannungsänderungen in den Gefäßwänden und leiten diese Informationen an Neuronen des Hirnstamms weiter, die über regulierende Efferenzen zurück in die

Peripherie wirken (Horn, 2003). Die Barorezeptorenaktivität übernimmt also die Funktion eines Kurzzeitregulators zur Konstanthaltung des arteriellen Mitteldrucks bei spontanen Druckschwankungen, indem z. B. kreislaufregulierende Neuronen eine akute arterielle Druckerhöhung mit depressorischer Gegenregulation durch allgemeine Hemmung des Sympathikus und Aktivierung des Parasympathikus beantworten (Horn, 2003; vgl. Hottenrott, 2002b).

Die respiratorische Sinusarrhythmie bezeichnet die Modulation der Herzfrequenz in Zusammenhang mit dem Atemzyklus, wobei der Inspiration eine Zunahme und der Expiration eine Abnahme der Ruheherzfrequenz zugeordnet werden kann (Horn, 2003). Dies führt zu einer synchronen Schwingung von Herzfrequenz und Atemfrequenz, wobei die RSA vor allem durch den Parasympathikus vermittelt wird (Horn, 2003; Hottenrott, 2002b).

Einige Autoren empfehlen daher, die Atemfrequenz während Messungen der HRV vorzugeben, andere erachten es als sinnvoller, jedem Teilnehmer eine vorgeschaltete Entspannungsphase einzuräumen (König et al., 2003)

### 3.3.2.2 Parameter der Herzfrequenzvariabilität (HRV)

Die Herzfrequenzvariabilität kann anhand unterschiedlicher HRV-Parameter dargestellt werden. Üblich ist zunächst die Übertragung der RR-Intervallauern eines Elektrokardiogramms in ein Tachogramm, wie in Abbildung 8 dargestellt.

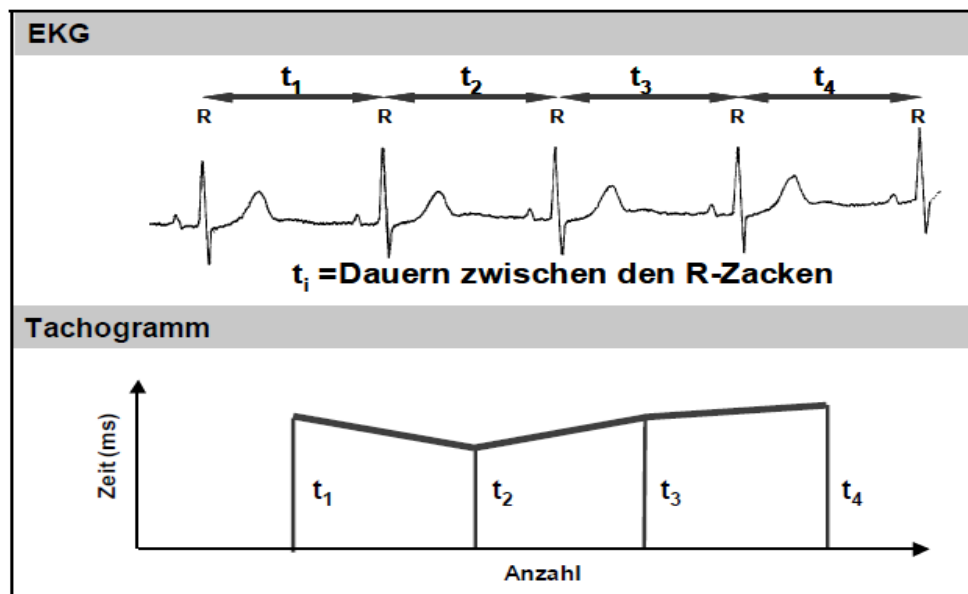


Abb. 8: Ableitung eines Tachogramms aus einem EKG (Horn, 2003, S. 20)

Die einzelnen Parameter der HRV werden durch unterschiedliche mathematische Verfahren ermittelt und lassen sich unterteilen in Zeitbereichsparameter und Parameter der Frequenzanalyse. Erstere

„leiten sich entweder aus der Messung der absoluten RR-Intervallauern ab oder haben Differenzen sukzessiver Schlag-zu-Schlag Intervalle zur Grundlage. Als statistisches Basismaß [...] gilt demnach die Standardabweichung, die kalkuliert über alle betrachteten RR-

Intervall dauern als SDNN, SDRR oder RRsd, über alle aufeinander folgenden RR-Intervalldifferenzen als rMSSD oder MSSD [...] benannt wird“ (Horn, 2003, S. 22).

Eine hohe Variabilität der Länge aufeinanderfolgender RR-Intervalle gilt dabei als Index vagaler Einflüsse auf das Herz (Achten & Jeukendrup, 2003), während die Gesamtvariabilität eines Messbereichs sowohl parasympathischen als auch sympathischen Einflüssen unterliegt.

Die zur quantitativen Analyse genutzten linearen Verfahren des Poincaré Plots werden den Zeitbereichsparametern zugeschrieben. Zur Erstellung eines Poincaré Plots werden in einem zweidimensionalen Koordinatensystem auf der x-Achse die einzelnen aufeinanderfolgenden RR-Intervall dauern eingetragen und auf der y-Achse jedem Intervall der x-Achse das jeweils folgende Intervall zugeordnet.

„Ein Poincaré Plot erster Ordnung repräsentiert im statistischen Sinne eine grafische Darstellung der Korrelation der RR-Reihe mit sich selbst nach Vorschub um ein RR-Intervall“ (Horn, 2003, S. 25)

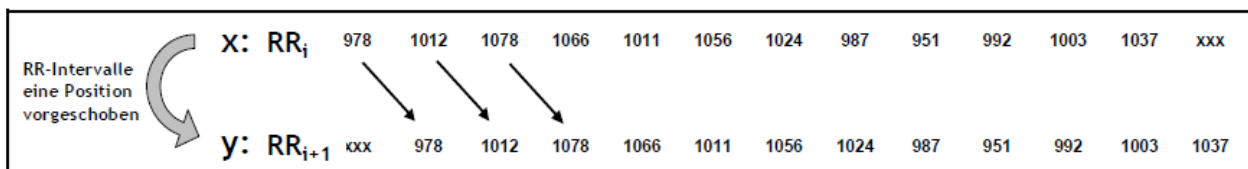


Abb. 9: Bildung der Wertepaare im Poincaré Plot (Horn, 2003, S. 25)

Mittels der in Abbildung 10 dargestellten Form lassen sich sowohl Informationen über die parasympathisch modulierte Schlag-zu-Schlag-Variabilität als auch über die sympathisch und parasympathisch modulierte Gesamtvariabilität gewinnen.

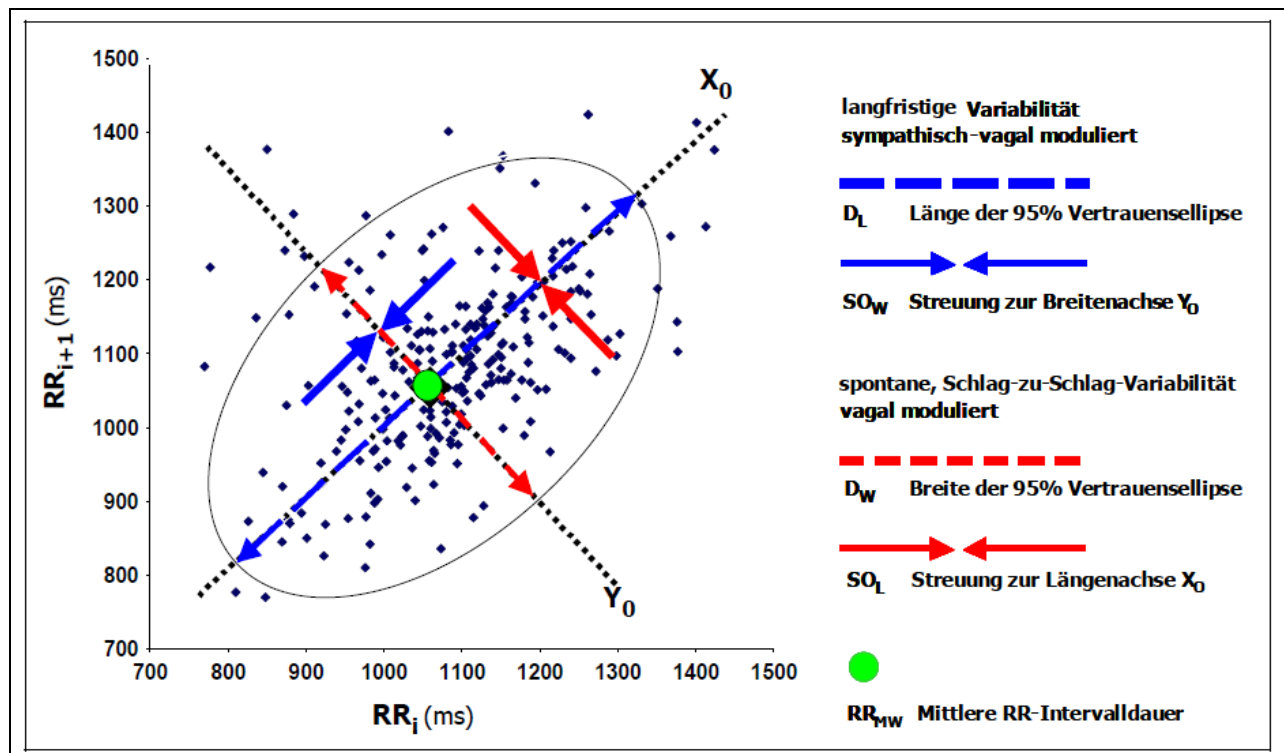


Abb. 10: Parameter im zweidimensionalen Poincaré Plot (Horn, 2003, S. 29)

Mithilfe computergestützter Verfahren wird eine Ellipse an die Punktwolke angepasst und eine Längen- sowie Breitenachse kalkuliert. Die Streuung der Werte um die Längsachse  $X_0$  beschreibt nun die Schlag-zu-Schlag-Variabilität (SOL oder SD1). Die Streuung um die Breitenachse  $Y_0$  stellt die Gesamtschwankung der Herzperiodendauern dar, also die Gesamtvariabilität (SOW oder SD 2). Je größer der abgebildete Unterschied zwischen geringster und größter Herzperiodendauer ist, desto größer ist auch die Gesamtvariabilität der Herzfrequenz im vorgegebenen Messzeitraum.

Die Parameter der Frequenzbereichs- oder Spektralanalyse beschreiben die Anteile der kurzwelligen (HF), langwelligen (LF) und sehr langwelligen (VLF) zyklischen Strukturen eines Tachogramms. Sie werden ermittelt durch mathematische Verfahren (Fast Fourier Transformation bzw. parametrische autoregressive Modelle), die das Ursprungssignal in unterschiedliche periodische Einheiten übertragen.

„Somit können – vergleichbar mit einer Varianzanalyse in der Statistik – die Beiträge einzelner Frequenzen beziehungsweise Frequenzbänder zur Gesamtvarianzaufklärung quantifiziert und damit die für die Generierung der Gesamtvariabilität bedeutendsten Frequenzen lokalisiert werden“ (Hoos, 2006, S. 30).

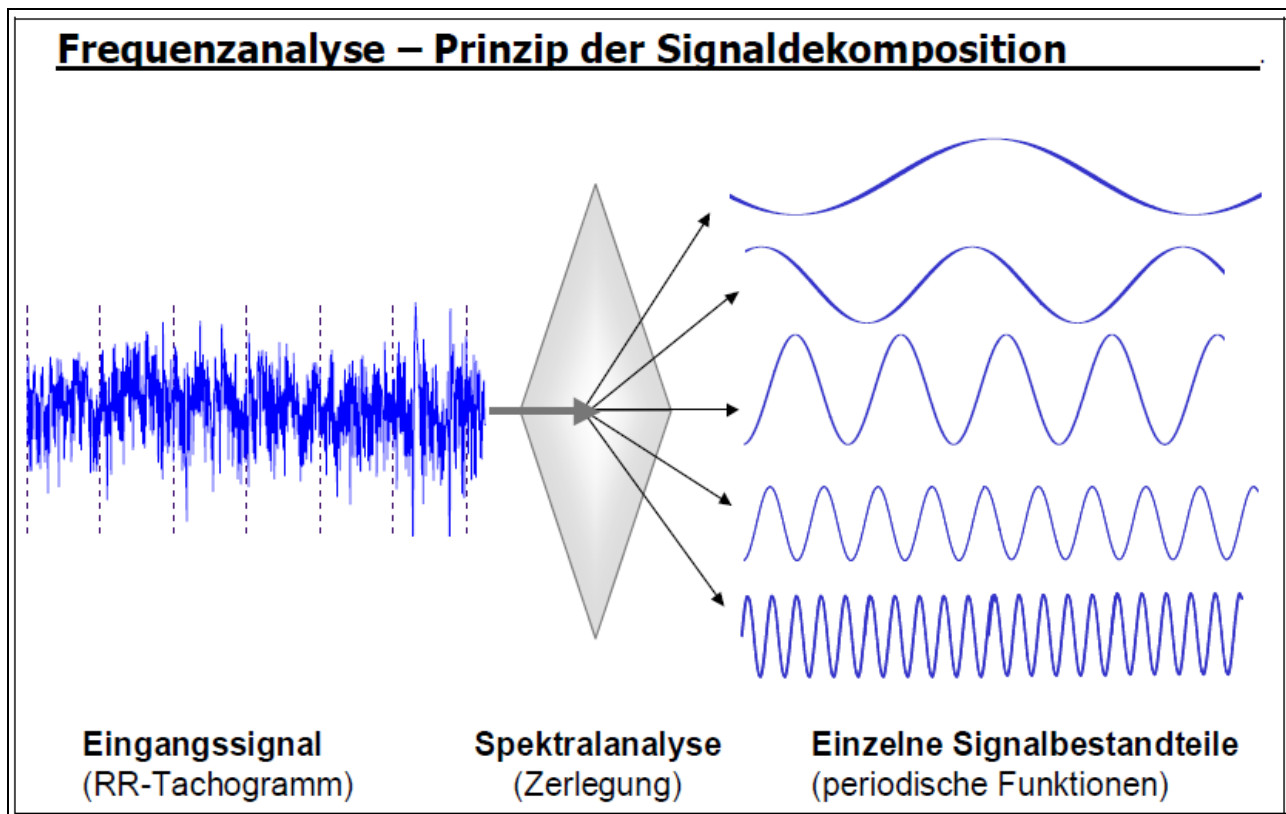


Abb. 11: Prinzip der Signaldekomposition in die periodischen Bestandteile (Horn, 2003, S. 33)

Die zyklische Struktur jeder Frequenzkomponente wird dabei voneinander abgrenzbaren Leistungsdichtespektren zugeordnet, die mit der Maßeinheit Hertz (1 Hertz = 1 Schwingung pro Sekunde) beschrieben werden. Die damit ausgedrückte Anzahl der Schwingungen pro Zeiteinheit entspricht im Kontext der Spektralanalyse periodisch wiederkehrenden Signalbestandteilen (siehe Abb. 11).

Dem HF(high frequency)-Bereich wird ein Leistungsspektrum von 0,4–0,15 Hertz zugewiesen. Dieses Leistungsspektrum inkludiert Signalbestandteile, die 9–24 Schwingungen pro Minute aufweisen, also alle Signalbestandteile, die sich alle 2,5 bis 6,67 Sekunden wiederholen. Die Anteile des HF-Bereichs sind parasympathisch moduliert und eng verbunden mit der respiratorischen Sinusarrhythmie (RSA) (Achten & Jeukendrup, 2003; Hoos, 2006; Horn, 2003). Der dominante Einfluss des Parasympathikus kann durch Rezeptorblockaden direkt nachgewiesen werden (Hoos, 2006).

Der LF(low frequency)-Bereich umfasst den Schwingungsbereich 0,15–0,04 Hertz, meint also 2,4-9 Schwingungen pro Minute, dementsprechend Signalbestandteile, die sich alle 6,67 bis 25 Sekunden wiederholen. Die Anteile des LF-Bereichs werden zwar von einigen Autoren als primär sympathisch moduliert beschrieben, jedoch ist davon auszugehen, dass auch parasympathische Einflüsse eine Rolle spielen (Hoos, 2006; vgl. Achten & Jeukendrup, 2003; Berntson et al., 1997). Pomeranz, Macaulay, Caudill, Kutz, Adam, Gordon, Kilborn, Barger, Shannon und Cohen (1985) konnten mit selektiven parasympathischen Rezeptorblockaden nachweisen, dass neben der HF-Power auch die LF-Komponente fast vollständig reduziert war. Horn (2003) schließt daraus, dass

auch der LF-Bereich überwiegend vagal moduliert wird. Eine eindeutige parasympathische oder sympathische Zuordnung erscheint derzeit nicht möglich.

Der VLF-Bereich von 0,0003-0,04 Hertz ist für Kurzzeitmessungen, wie sie im sportwissenschaftlichen Kontext üblich sind, zu vernachlässigen (vgl. Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology, 1996).

Die Darstellung der mittels Frequenzanalyse ermittelten Anteile der Frequenzbereiche am Gesamtsignal erfolgt über Prozentangaben oder als Absolutwert in der Einheit  $\text{ms}^2$ . Je höher die Angaben der einzelnen Frequenzbereiche sind, desto größer ist deren Anteil am Gesamtsignal. Ebenfalls üblich ist die Darstellung der spektralen Energie relativiert zur Spektraldichte im hoch- und niederfrequenten Bereich (HF:LF) in Form normalisierter Einheiten (Horn, 2003).

### 3.3.2.3 Bisherige Studienergebnisse Herzfrequenzvariabilität

Bisher existieren einige Studien, die Veränderungen der Parameter der Herzfrequenzvariabilität bei Sportlern während hochintensiver Trainings- oder Wettkampfphasen dokumentieren und gleichzeitig leistungsdiagnostische Angaben berücksichtigen (vgl. Atlaoui et al., 2007; Baumert et al., 2006; Hedelin, Kenttä et al., 2000; Hedelin, Bjerle & Henriksson-Larsén, 2001; Iellamo et al., 2002; Pichot et al., 2002; Portier et al., 2001; Uusitalo et al., 2000). Zu differenzieren ist hier zwischen solchen Untersuchungen, bei denen es zu Leistungsminderungen bei den teilnehmenden Sportlern kam (Baumert et al., 2006; Hedelin, Kenttä et al., 2000; Uusitalo et al., 2000), und solchen, bei denen Leistungsminderungen ausblieben (Atlaoui et al., 2007; Portier et al., 2001) bzw. sich die Leistungsfähigkeit der Teilnehmer verbesserte (Hedelin et al., 2001; Iellamo et al., 2002; Pichot et al., 2002). Vereinzelt wurde auf die Angabe von Leistungsparametern verzichtet (Arvey & Hofmann, 2001; Barbalk & Bauer, 2001; Earnest et al., 2004; Iwasaki et al., 2003; Pichot et al., 2000; Winsley et al., 2005).

In einer Metaanalyse zum Thema Überlastungen und Herzfrequenzvariabilität werteten Bosquet et al. (2008) die Ergebnisse von insgesamt 34 vorliegenden Studien aus.

Zudem existiert eine Reihe von Studien, die den Einfluss moderaten sportlichen Trainings (Boutcher & Stein, 1995; Gamelin, Berthoin, Sayah, Libersa & Bosquet, 2007; Kiviniemi, Hautala, Mäkitallio, Seppänen, Huikuri & Tulppo, 2006; Kiviniemi, Hautala, Kinnunen & Tulppo, 2007; Melanson, 2000; Schuit, van Amelsvoort, Verheij, Rijnke, Maan, Swenne & Schouten, 1999; Tulppo et al., 2003) – eine Metaanalyse führten Sandercock et al. (2005) durch – bzw. singulärer (Extrem-)belastungen (Cottin, 2007; Mouro, Bouhaddi, Tordi, Rouillon & Regnard, 2004) auf zeitliche Veränderungen der HRV-Parameter dokumentierten.

Weitere Untersuchungen beschäftigten sich mit dem Zusammenhang zwischen körperlicher Fitness bzw. dem Leistungsniveau von Sportlern und deren Herzfrequenzvariabilität (vgl. Gilder & Ramsbottom, 2008; Goldsmith et al., 1997) – einen Überblick zum Forschungsstand geben Aubert et al. (2003).

Kiviniemi et al. (2007) testeten die Herzfrequenzvariabilität im Hinblick auf deren Wirksamkeit in der Belastungssteuerung und entwickelten eine HRV-basierte Methode der individuellen Anpassung von Trainingsumfängen, Gall, Parkhouse und Goodman (2004) verglichen die Herzfrequenzvariabilität verletzter Sportler mit der von gesunden Teilnehmern.



Vereinzelte Studien mit als überbelastet diagnostizierten Sportlern durchgeführt (vgl. Hedelin, Wiklund et al., 2000; Hynynen et al., 2008; Mourot et al., 2004).

Zunächst soll auf solche Studien eingegangen werden, die Leistungsminderungen bei den teilnehmenden Sportlern während intensiver Trainingsphasen induzieren konnten.

Hedelin, Kenttä et al. (2000) wiesen während eines sechstägigen Trainingslagers Leistungsminderungen von 6 % bei neun Kanuten nach, konnten allerdings keine Veränderungen der mittels Frequenzanalyse dokumentierten HRV-Parameter feststellen. Sowohl die Werte im hochfrequenten (HF) als auch im niedrigfrequenten (LF) Bereich blieben bei einer Messung nach sechs Trainingstagen im Vergleich zu den Vortests konstant.

Auch Uusitalo et al. (2000) fanden keine Veränderungen der Zeitbereichsparameter der HRV bei neun Ausdauersportlerinnen während und nach einer sechs- bis neunwöchigen Intervention, an deren Ende fünf Sportlerinnen Leistungsminderungen zeigten. Lediglich im LF-Bereich kam es bei der Frequenzanalyse zu einem signifikanten Anstieg der Werte nach Beendigung der Trainingsphase, im HF-Bereich blieben die Werte konstant.

Baumert et al. (2006) wiesen Leistungsminderungen von 7 % bei zehn Leichtathleten und Triathleten während eines zehntägigen Trainingslagers nach. Sie konnten belegen, dass ein Parameter des Zeitbereichs (rMSSD) zum Zeitpunkt der Leistungsminderung signifikant reduzierte Werte aufwies und sich im Verlauf der folgenden Regenerationsphase wieder normalisierte. Im Frequenzbereich zeigten die Werte des HF- und LF-Bereichs eine abfallende Tendenz von der ersten zur letzten Messung, die niedrigsten Werte traten nach der Regenerationsphase auf.

Alle genannten Autorengruppen beziehen sich auf wenige durchgeführte Messungen (zwei bzw. drei), Parameterverläufe über einen längeren Zeitraum wurden nicht dargestellt.

Einige Studien dokumentieren den Verlauf verschiedener HRV-Parameter während unterschiedlich langer intensiver Trainings- und Wettkampfphasen, ohne dass Leistungsminderungen nachgewiesen wurden.

Portier et al. (2001) untersuchten den Einfluss einer zwölfwöchigen intensiven Trainingsphase auf Parameter der HRV bei acht hochtrainierten Ausdauersportlern. Nach der Trainingsphase zeigte sich die Gesamtvariabilität der Herzfrequenz (RRsd) der Sportler erniedrigt, die Werte für den LF-Bereich waren reduziert, die Werte für den HF-Bereich erhöht. Es kam zu keinerlei Veränderungen der Ruheherzfrequenz und maximalen Sauerstoffaufnahmefähigkeit. Auch Pichot et al. (2000) konnten bei Mitteldistanzläufern eine Reduzierung des RRsd während einer dreiwöchigen intensiven Trainingsphase im Vergleich zur anschließenden Regenerationsphase dokumentieren.

Winsley et al. (2005) wiesen nach, dass Veränderungen der HRV nach zweiwöchigem, täglich absolviertem und intensivem Training in Abhängigkeit vom Trainingszustand der Teilnehmerinnen auftraten. Bei den als inaktiv eingestuften Frauen kam es im Gegensatz zu den sportlich aktiven Teilnehmerinnen zu einer signifikanten Abnahme der Werte des HF-Bereichs am Ende der zweiten Übertrainingswoche im Vergleich zu den Eingangswerten. Die Parameter des Zeitbereichs zeigten keinerlei Veränderungen.

Auch Iellamo et al. (2002) konnten in einer Studie mit Hochleistungsruderern belegen, dass in Phasen höchst intensiven und umfangreichen Trainings die Spektralleistung im HF-Frequenzband im Vergleich zu Normwerten der Sportler signifikant abnahm, wohingegen sie während moderater

Belastungsphasen signifikant anstieg. In der vorliegenden Studie konnten keine Leistungsminierungen bei den Sportlern dokumentiert werden. Diese wiesen zum Zeitpunkt der höchsten Belastungsumfänge die höchste Sauerstoffaufnahme-fähigkeit auf und nahmen im Anschluss an die Untersuchung erfolgreich an einer Weltmeisterschaft teil.

Pichot et al. (2002) sowie Atlaoui et al. (2007) untersuchten Veränderungen der HRV-Parameter bei sechs sportlich inaktiven Teilnehmern bzw. 13 Leistungsschwimmerinnen und -schwimmern während einer vierwöchigen Überlastungsphase. Während Pichot et al. (2002) Leistungssteigerungen und eine Zunahme der Herzfrequenzvariabilität anhand erhöhter rMSSD-Werte sowie einer erhöhten Spektralleistung im HF-Bereich im Vergleich zu Normwerten der Teilnehmer nachweisen konnten, fanden letztgenannte Autoren keine signifikanten Veränderungen der HRV-Parameter bei fast konstant gleich bleibender Leistungsfähigkeit.

Ähnliche Ergebnisse zeigten Untersuchungen von Earnest et al. (2004), die keine Anpassungen der HRV-Parameter des Zeitbereichs und der anhand der Spektralanalyse ermittelten Parameter bei acht Radsportlern während der Spanienrundfahrt 2001 feststellen konnten. Die Autoren bestimmten für jeden Sportler Belastungsindizes, die sich aus der Belastungsdauer und Herzfrequenz während der jeweiligen Tagesetappen berechneten. Diese Belastungsindizes korrelierten während der Etappen 10-15 negativ mit dem Zeitbereichsparameter rMSSD, sodass die Autoren einen inversen Zusammenhang zwischen Belastungsumfang bzw. -intensität sowie der Herzfrequenzvariabilität vermuten.

Berbalk und Bauer (2001) konnten diesen Zusammenhang mittels einer vierjährigen Einzelfalluntersuchung an einem Langstreckentriathleten nachweisen. Eine verminderte Herzfrequenzvariabilität, dargestellt anhand des rMSSD-Wertes, fanden die Autoren nach Verletzungen, bei Infekten, Befindlichkeitsstörungen, Stress und während Phasen mit hohen Wettkampfbelastungen bzw. wettkampfspezifischem Training.

Iwasaki et al. (2003) vermuten einen umgekehrt U-förmigen Zusammenhang zwischen dem Zeitbereichsparameter RRsd und dem absolvierten Trainingsumfang. Sie untersuchten elf vormals inaktive Teilnehmer während einer einjährigen Langzeitstudie bei deren Vorbereitungen auf einen Marathon. Zunächst bewirkte das sportliche Training einen Anstieg des RRsd-Wertes, ab einem gewissen Belastungsumfang jedoch wirkte sich die sportliche Betätigung bei den untersuchten Läufern negativ auf die Herzfrequenzvariabilität aus. Die Autoren argumentieren, dass moderate Belastungsumfänge ausreichend seien, um substanzielle Anpassungen der Herzfrequenz und Herzfrequenzvariabilität zu erreichen. Verlängertes oder intensiviertes Training dagegen führe nicht notwendigerweise zu einer Verstärkung der erzielten Effekte.

Hedelin et al. (2001) konnten zwar keine eindeutigen Veränderungen der parasympathisch modulierten HRV-Parameter aufgrund eines verbesserten Trainingszustands bei 17 Skilangläufern und sieben Kanuten im Anschluss an eine siebenmonatige Trainingsphase nachweisen, jedoch zeigten die Ergebnisse, dass diejenigen Sportler, die im Anschluss an die Trainingsphase eine erhöhte maximale Sauerstoffaufnahme-fähigkeit erreichen konnten, von Beginn an höhere Werte für den HF-Bereich und eine höhere Gesamtvariabilität aufwiesen.

Bosquet et al. (2008) kamen in einer Metaanalyse von 34 Studien zu dem Ergebnis, dass Trainingsinterventionen von bis zu zweiwöchiger Dauer – unabhängig von der Leistungsentwicklung der Teilnehmer – zu einem moderaten Anstieg des Verhältnisses der Werte des niedrigfrequenten zu denen des hochfrequenten Bereichs (LF:HF) und zu einem leichten, aber



nicht signifikanten Abfall der Gesamtvariabilität (niedrigfrequenter + hochfrequenter Bereich) führten. Länger andauernde Trainingsinterventionen induzierten nach Auffassung der Autoren keine nennenswerten Anpassungen.

Viele Studien konnten einen positiven Effekt moderaten Ausdauertrainings auf Parameter der Herzfrequenzvariabilität belegen – ein ausführlicher Überblick über den Forschungsstand findet sich bei Hoos (2006).

Tulppo et al. (2003) dokumentierten den Zusammenhang zwischen sportlichem Training und der HRV anhand einer Studie mit 35 untrainierten männlichen Teilnehmern. Die Autoren führten eine moderate und eine hoch umfangreiche Trainingsintervention über einen Zeitraum von acht Wochen durch. Die Parameter der HRV wurden jeweils vor und nach der Intervention über einen Zeitraum von 24 Stunden ermittelt. Beide Trainingsgruppen verzeichneten nach der Trainingsphase eine deutliche Abnahme der Ruheherzfrequenz sowie eine tendenzielle Zunahme der Standardabweichung der RR-Intervalle (RRsd). In beiden Gruppen stiegen die bei der Spektralanalyse ermittelten Werte für den LF- und HF-Bereich signifikant an.

Kiviniemi et al. (2006) wiesen bei Teilnehmern eines achtwöchigen aeroben Ausdauertrainings einen Anstieg der Werte des HF-Bereichs nach, Gamelin et al. (2007) bei zehn Teilnehmern nach zwölfwöchigem Ausdauertraining eine signifikante Zunahme der Werte des LF-Bereichs in Verbindung mit einer gesteigerten Leistungsfähigkeit. Auch die Zeitbereichsparameter der HRV zeigten am Ende der Intervention eine tendenzielle Zunahme.

Gilder und Ramsbottom (2008) belegten anhand einer Untersuchung mit 72 jungen Frauen, dass ein Ausdauertraining mit hohem Belastungsumfang (öfter als 3 x pro Woche 1 Stunde und mehr) die Herzfrequenzvariabilität stärker beeinflusst als ein Ausdauertraining niedrigen Umfangs (1-2 x pro Woche 30–45 Minuten). Sowohl die Zeitbereichsparameter RRsd, rMSSD, SD1 und SD2 als auch die Werte des HF-Bereichs der Frequenzanalyse zeigten höhere Werte für diejenigen Frauen an, die angaben, mit hohem Belastungsumfang zu trainieren.

Schuit et al. (1999) untersuchten den Effekt eines sechsmonatigen moderaten Ausdauertrainings auf die HRV bei 51 älteren, untrainierten Personen und konnten eine signifikante Zunahme der Werte des LF-Bereichs und der Standardabweichung der RR-Intervalle nachweisen. Die stärksten Veränderungen traten bei denjenigen Teilnehmern auf, die zu Beginn der Studie die geringste sportliche Betätigung zeigten.

Sandercock et al. (2005) führten eine Metaanalyse von 13 Studien und insgesamt 322 Fällen durch. Alle ausgewerteten Untersuchungen nutzten eine mindestens vierwöchige Trainingsintervention. Die Autoren kamen zu dem Ergebnis, dass sportliches Training eine signifikante Zunahme der Werte des hochfrequenten Bereichs bei der Spektralanalyse sowie eine reduzierte Ruheherzfrequenz bewirkt, und vertreten die These, dass die durch sportliches Training induzierten Veränderungen mit einer erhöhten vagalen Modulation einhergehen. Jedoch zeigten sich deutliche altersabhängige Unterschiede mit eindeutigeren Anpassungen bei jüngeren Menschen unter 20 Jahren.

Vereinzelte Studien konnten den positiven Effekt sportlichen Trainings auf Parameter der HRV nicht nachweisen (vgl. Boutcher & Stein, 1995; Kiviniemi et al., 2007; Melanson, 2000).

Vergleiche zwischen sportlich aktiven und sportlich inaktiven Personen zeigten zumeist höhere Werte der Herzfrequenzvariabilität bei den trainierten Personen (Gilder & Ramsbottom, 2008;

Goldsmith et al., 1997; Shin, Minamitani, Onishi, Yamazaki & Lee, 1997), vereinzelt jedoch auch keine Unterschiede (Migliaro, Contreras, Bech, Etxagibel, Castro, Ricca & Vicente, 2001) – eine ausführliche Übersicht über den Forschungsstand geben in diesem Zusammenhang Aubert et al. (2003).

Wenige Studien untersuchten HRV-Werte bei Sportlern mit einem diagnostizierten Übertrainingssyndrom. Hynynen et al. (2008) verglichen HRV-Parameter von sechs Sportlern unterschiedlicher Sportarten, bei denen ein Übertrainingssyndrom diagnostiziert wurde, mit denen einer Kontrollgruppe (n = 6). Als Kriterien für die Diagnose eines Übertrainingssyndroms dienten folgende Aspekte:

- eine unerklärbare Leistungsminderung über mindestens drei Wochen
- anhaltende Müdigkeit über mindestens drei Wochen
- ein Ausschluss von Krankheiten und Infekten
- eine Zunahme des Trainingsvolumens und der Trainingsintensität über einen Zeitraum von bis zu sechs Monaten vor Auftreten der Leistungsminderung und weiteres Training trotz auftretender Symptome

Die Werte einzelner HRV-Parameter der Sportler mit Übertrainingssyndrom unterschieden sich deutlich von denen der Kontrollgruppe. Die Standardabweichung der RR-Intervalle (RRsd) zeigte sich bei den übertrainierten Sportlern signifikant erniedrigt, ebenso die Werte für den LF-Bereich. Keine signifikanten Unterschiede stellten die Autoren jedoch in Bezug auf die weiteren Parameter des Zeitbereichs, den HF-Bereich sowie die nächtliche Herzfrequenzvariabilität fest (Hynynen et al., 2008; Hynynen, Uusitalo, Kontinen & Rusko, 2006).

Hedelin, Wiklund et al. (2000) ermittelten Parameter der Spektralanalyse bei einem übertrainierten 16-jährigen Skilangläufer, bei dem zentrale Ermüdungserscheinungen, eine reduzierte Leistungsfähigkeit, Atemlosigkeit sowie eine beeinträchtigte Befindlichkeit diagnostiziert wurden und ein vorliegender Infekt ausgeschlossen wurde. Die Autoren verglichen die Werte mit den Messungen nach einer Regenerationsphase von zwei Monaten und vorliegenden Normwerten des Sportlers und wiesen im Zustand der Überbelastung leicht erhöhte Werte für den HF-Bereich sowie leicht erniedrigte Werte für den LF-Bereich nach. Die Autoren gehen von einer autonomen Dysbalance mit verstärkter parasympathischer Modulation im Zustand der Überbelastung aus.

Mourot et al. (2004), die sich bei der Diagnose Übertrainingssyndrom an den von Holmes et al. (1988) genannten Kriterien eines chronischen Müdigkeitssyndroms orientierten, konnten bei sieben Sportlern mit Übertrainingssyndrom erniedrigte Werte für den HF-Bereich und ein erhöhtes Verhältnis von niedrigfrequenten zu hochfrequenten Anteilen bei der Frequenzanalyse im Vergleich zu einer Kontrollgruppe, bestehend aus trainierten Sportlern, nachweisen. Die Sportler mit Übertrainingssyndrom zeigten in Bezug auf die vagal modulierten Parameter der HRV ähnliche Werte wie eine weitere Kontrollgruppe bestehend aus untrainierten Menschen, wiesen jedoch im Vergleich zu dieser deutlich erhöhte Werte im LF-Bereich auf.

Tabelle 8 stellt die Studienergebnisse zur Herzfrequenzvariabilität zusammenfassend dar.

Tab. 8: Tabellarischer Überblick über bisherige Studienergebnisse zur Herzfrequenzvariabilität.

<b>Autoren</b>	<b>Anzahl TN/Sportart</b>	<b>Dauer Intervention/Beobachtung</b>	<b>Ergebnisse</b>
Atlaoui et al. (2007)	n = 13 (Schwimmen)	4 Wochen intensiviertes Training 3 Wochen reduziertes Training	RRsd → rMSSD → LF-Power → HF-Power →
Baumert et al. (2006)	n = 10 (Leichtathletik, Triathlon)	13 Tage intensives Training	Leistung ↓ rMSSD ↓ RRsd → HF-Power → LF-Power →
Berbalk & Bauer (2001)	n = 1	Längsschnittstudie über 4 Jahre	erniedrigte HRV bei gesund- heitlichen Beeinträchtigungen, Verletzungen, nach hohen Wettkampfbelastungen und bei beeinträchtigter Befindlichkeit
Bosquet et al. (2008)	n = 159	Metaanalyse	Studien bis zu 2 Wochen: LF-Power : HF-Power ↑ Studien länger als 2 Wochen: LF-Power : HF-Power →
Earnest et al. (2004)	n = 8 (Radsport)	3 Messungen der HRV Parameter vor und während der Spanienrundfahrt 2001	keine Veränderungen der HRV-Parameter während der Spanienrundfahrt bezogen auf die Normwerte der Sportler
Gamelin et al. (2007)	n = 10	12 Wochen aerobes Training 8 Wochen Trainingspause	LF-Power ↑ (nach Trainings- phase) LF-Power ↓ (während Trai- ningspause)
Gilder & Ramsbottom (2008)	n = 72	Vergleichstest zwischen häu- fig und moderat trainierenden Sportlerinnen	HF-Power ↑ (bei häufig trainierenden Sportlerinnen) Zeitbereichsparameter ↑ (bei häufig trainierenden Sportlerinnen)
Goldsmith et al. (1997)	n = 37	Vergleich VO <sup>2</sup> max und HRV Parameter bei unterschiedlich alten Teilnehmern	hohe Korrelation zwischen HF- Power und VO <sup>2</sup> max
Hedelin et al. (2000)	n = 1 (übertrainierter Skilangläufer)	Vergleich der individuellen Verläufe der HRV Parameter eines überbelasteten Sportlers	HF-Power leicht erhöht, LF-Power leicht erniedrigt während des Erschöpfung- zustands
Hedelin et al. (2000)	n = 9 (Kanu)	6 Tage Belastungsumfang plus 50 %	Leistung ↓ (6 %) HF-Power → LF-Power →

<b>Autoren</b>	<b>Anzahl TN/Sportart</b>	<b>Dauer Intervention/Beobachtung</b>	<b>Ergebnisse</b>
Hedelin et al. (2001)	n = 24 (Skilanglauf und Kanu)	7-monatige Trainingsphase	LF-Power im Stehen ↓ (bei Sportlern, die am Ende der Trainingsphase eine verbesserte aerobe Kapazität zeigten)
Hynynen et al. (2008)	n = 24 (12 extrem übertrainierte Sportler und 12 Sportler als Kontrollgruppe)	einmalige Messungen	übertrainierte Sportler: RRsd ↓ LF-Power ↑
Iellamo et al. (2002)	n = 7 (Rudern)	4 Messungen der HRV Parameter während unter- schiedlicher Trainings- und Belastungsphasen über eine komplette Saison	Belastungsumfang 75 %: LF-Power → (tendenziell erhöht) HF-Power ↑ Belastungsumfang 100 %: LF-Power → (tendenziell erhöht) HF-Power ↓
Iwasaki et al. (2003)	n = 11	1 Jahr	LF-Power ↑ (bei kontrollierter Atmung nach 3 und 6 Monaten Training, Absinken der Spektralleistung auf Norm- niveau nach 9 und 12 Monaten Training) HF-Power → (bei kontrollierter Atmung, tendenzieller Anstieg nach 3 und 6 Monaten Training, danach Absinken auf Normniveau)
Kiviniemi et al. (2007)	n = 17	4 Wochen niedrig und hoch intensives Ausdauertraining 6 Trainingseinheiten pro Woche	keine Veränderungen der HRV-Parameter
Kiviniemi et al. (2006)	n = 17	8 Wochen aerobes Ausdauer- training	HF-Power ↑

Autoren	Anzahl TN/Sportart	Dauer Intervention/Beobachtung	Ergebnisse
Mourot et al. (2004)	n = 7 (Sportler mit ÜTS)	Vergleich der HRV-Parameter zwischen Sportlern mit ÜTS, trainierten Sportlern sowie inaktiven Personen	HRV-Werte der ÜTS-Gruppe im Vergleich zu trainierten Sportlern: rMSSD ↓ HF-Power ↓  HRV-Werte der ÜTS-Gruppe im Vergleich zu inaktiven Personen: rMSSD → HF-Power → LF-Power ↑
Pichot et al. (2002)	n = 6 (inaktiv)	2 Monate intensives Training 1 Monat Überlastung 2 Wochen Regeneration	Leistung ↑ (26 % bzw. 28 %) RRsd ↑, rMSSD ↑ HF-Power ↑ (während intensivem Training und Über- lastung im Vergleich zu Norm- werten vor Trainingsbeginn)
Pichot et al. (2000)	n = 7 (Ausdauer)	3 Wochen erhöhte und inten- sivierte Trainingsbelastung	RRsd ↓; tendenzielle Abnahme der Parameter des Zeitbe- reichs während der 3wöchigen Trainingsphase und Anstieg während der anschließenden Regenerationswoche
Portier et al. (2001)	n = 8 (Ausdauer)	3 Wochen Regeneration 12 Wochen intensives Trai- ning	Ergebnisse nach intensiver Trainingsphase: VO <sup>2</sup> max. → HF-Power ↑ LF-Power ↓ RRsd ↓
Sandercock et al. (2005)	n = 322	Metaanalyse	HF-Power ↑ durch sportliches Training
Schuit et al. (1999)	n = 51	6 Monate Ausdauertraining 3 x wöchentlich	RRsd ↑ LF-Power ↑
Tulppo et al. (2003)	n = 35	8 Wochen moderates Training 8 Wochen hoch umfangrei- ches Training	Leistung ↑ RRsd (24h) ↑ HF-Power ↑ LF-Power ↑
Uusitalo et al. (2000)	n = 9 (Ausdauer)	6-9 Wochen Grundlagentraining plus 100 % Intensive Trainingsinhalte plus 130 %	Leistung ↓ (n = 5) Zeitbereichsparameter → HF-Power → LF-Power ↑

<b>Autoren</b>	<b>Anzahl TN/Sportart</b>	<b>Dauer Intervention/Beobachtung</b>	<b>Ergebnisse</b>
Winsley et al. (2005)	n = 20 (10 aktiv/ 10 inaktiv)	2 Wochen intensives tägliches Training 1 Woche Regeneration	HF-Power → (aktiv) LF-Power → (aktiv) Zeitbereich → (aktiv) HF-Power ↓ (inaktiv) LF-Power → (inaktiv) Zeitbereich → (inaktiv)

### 3.3.2.4 Diskussion der Studienergebnisse zur Herzfrequenzvariabilität

Körperliche Belastung führt unmittelbar zu einer deutlichen Reduzierung oder Abschaltung der efferenten Vagusaktivität (Aubert et al., 2003) und damit zu einer „Verschiebung der autonomen Balance zugunsten einer Sympathikusdominanz“ (Hottenrott, Hoos & Esperer, 2006, S. 545; vgl. Hoos, 2006). Bei zunehmender Belastung verstärkt sich die Aktivierung des Sympathikus und es kommt, in Abhängigkeit von Belastungsintensität und Belastungsform, zu einer Reduzierung der Herzfrequenzvariabilität (Aubert et al., 2003; Hottenrott et al., 2006; König et al., 2003; vgl. Horn, Schulz & Heck, 2004; Leicht, Sinclair & Spinks, 2008), und zwar über die Dauer der sportlichen Aktivität hinaus (Mouroto et al., 2004). Diese Anpassungen sind individuell unterschiedlich, sodass die HRV im Verlauf von Extrembelastungen auch wieder ansteigen kann (vgl. Cottin, 2007).

Langfristig betrachtet führt sportliches (Ausdauer-)Training jedoch zu einem relativen Anstieg des Wirkungsgrades des parasympathischen Anteils des autonomen Nervensystems (Aubert et al., 2003; Berbalk, 1999; Berbalk & Bauer, 2001; Dickhuth, 2000; Gamelin et al., 2007; Goldsmith et al., 1997; Hoos, 2009; Hottenrott et al., 2006; Iellamo et al., 2002; König et al., 2003; Meeusen et al., 2006; Pichot et al., 2002; Tulppo et al., 2003; vgl. Hoos, 2006; Mouroto et al., 2004) und damit zu einer erhöhten Herzfrequenzvariabilität, nachweisbar durch eine Zunahme hochfrequenter, vereinzelt auch niedrigfrequenter, Anteile am Gesamtsignal des RR-Tachogramms sowie durch einen Anstieg der vagal modulierten Parameter des Zeitbereichs (Aubert et al., 2003; Baumert et al., 2006; Berbalk, 1999; Goldsmith et al., 1997; Hedelin et al., 2000; König et al., 2003; Pichot et al., 2002). Studien von Gamelin et al. (2007), Kiviniemi et al. (2006), Sandercock und Brodie (2006), Schuit et al. (1999), Tulppo et al. (2003) sowie eine von Sandercock et al. (2005) durchgeführte Metaanalyse konnten dies mit ihren Ergebnissen belegen. Tulppo et al. (2003) gehen davon aus, dass bereits ein moderates Trainingsvolumen ausreichend ist, um von den kardiovaskulären Veränderungen durch Ausdauertraining zu profitieren und eine erhöhte vagale Einflussnahme hervorzurufen. Größere Anpassungen der HRV sind bei jüngeren und untrainierten Personen beobachtet worden (vgl. Boutcher & Stein, 1995; Sandercock et al., 2005; Schuit et al., 1999). Aubert et al. (2003) weisen darauf hin, dass die HRV mit zunehmendem Lebensalter abnimmt (vgl. Berbalk, 1999), denkbar ist also, dass diese dann auch weniger anpassungsfähig ist als bei jungen Sportlern.

Hedelin et al. (2001) konnten in ihrer siebenmonatigen Studie mit Skilangläufern und Kanuten nationalen Spitzenniveaus zwar keine eindeutigen Veränderungen der parasympathisch modulierten HRV-Parameter aufgrund eines verbesserten Trainingszustands nachweisen, jedoch zeigte die Studie, dass diejenigen Sportler, die im Anschluss an die Trainingsphase eine erhöhte maximale Sauerstoffaufnahmefähigkeit erreichen konnten, von Beginn an höhere Werte für den

hochfrequenten Bereich und eine höhere Gesamtvariabilität aufwiesen. Die Autoren spekulieren, dass das Niveau der parasympathischen Aktivität ein vererbtes Merkmal sein könnte, welches die kardiovaskuläre Anpassungsfähigkeit an sportliches Training beeinflusst.

Eine erhöhte instantane und globale Herzfrequenzvariabilität bei trainierten im Vergleich zu untrainierten Personen ist bezogen auf die rein vagal modulierten Parameter zwar höchst wahrscheinlich und durch entsprechende Studien belegt (Gilder & Ramsbottom, 2008; Goldsmith et al., 1997; Shin et al., 1997; vgl. Achten & Jeukendrup, 2003) und wird daher gemeinhin bei gesunden Menschen mit einer reduzierten Ruheherzfrequenz und somit mit einem verbesserten Trainingszustand assoziiert (vgl. Berbalk, 1999; Hottenrott et al., 2006; Tulppo et al., 2003). Dennoch ist diese Vorstellung aufgrund von Studienergebnissen, die keine Veränderungen der HRV durch aerobes Ausdauertraining nachweisen konnten (Boutcher & Stein, 1995; Hedelin et al., 2001; Kiviniemi et al., 2007; Loimaala, Huikuri, Oja, Pasanen & Vuori, 2000; Melanson, 2000), nicht allgemein anerkannt (vgl. Kiviniemi et al., 2006; Sandercock & Brodie, 2006). Aubert et al. (2003) vermuten, dass das Lebensalter der Untersuchungsteilnehmer die teilweise diskrepanten Ergebnisse erklären könnten. Ähnlich argumentieren Sandercock und Brodie (2006), die als ursächlich für die Heterogenität der Ergebnisse variierende Teilnehmerzahlen in Bezug auf Alter und Trainingszustand, die häufig hohe Anzahl an gemessenen Parametern sowie uneinheitliche methodische Vorgehensweisen bei der Auswertung der Daten ansehen. Verantwortlich könnte auch die hohe biologische Variabilität der Herzfrequenzvariabilität sein (vgl. Horn et al., 2004), vor allem dann, wenn die Anzahl der durchgeführten Messungen gering ist. So führten Hedelin, Wiklund et al. (2000) einmalige Messungen bei einem Teilnehmer mit Symptomen eines Übertrainingssyndroms durch, Earnest et al. (2004) verglichen die Ergebnisse von zwei Messungen mit einem Referenzwert, Baumert et al. (2006), Hedelin, Kenttä et al. (2000) sowie Uusitalo et al. (2000) nahmen lediglich zwei bzw. drei Messungen vor, sodass eine Interpretation der Verläufe der gemessenen Parameter nicht möglich ist.

Auch der Einsatz unterschiedlicher Atemtechniken kann zu veränderten bzw. widersprüchlichen Ergebnissen führen. Iwasaki et al. (2003) dokumentierten in ihrer Studie bemerkenswert hohe Differenzen bei Messungen der HRV-Parameter mit spontaner im Vergleich zu kontrollierter Atmung.

In Verbindung mit Überbelastungen und Übertrainingssyndrom sind aufgrund des Einflusses sportlichen (Ausdauer-)trainings auf die vegetative Reaktionslage grundsätzlich Anpassungen der Parameter der Herzfrequenzvariabilität zu erwarten (vgl. Berbalk, 1999; Dickhuth, 2000; Hedelin et al., 2000; Hottenrott et al., 2006; Israel, 1976; König et al., 2003; Mouroto et al., 2004). Die vorliegenden Studien zeigen diesbezüglich jedoch keine einheitlichen Ergebnisse.

Während Untersuchungen mit als überbelastet diagnostizierten Sportlern eine reduzierte parasympathische Aktivität vereinzelt nachweisen konnten (Hynynen et al., 2006; Hynynen et al., 2008; Mouroto et al., 2004), gelang dies bei Untersuchungen während intensiver Belastungsphasen nur vereinzelt (Baumert et al., 2006; Iellamo et al., 2002; Winsley et al., 2005; vgl. Bosquet et al., 2008). Die Untersuchung von Baumert et al. (2006) stellt in diesem Zusammenhang die einzige der oben genannten Arbeiten dar, bei der eine reduzierte HRV in Verbindung mit Leistungsmininderungen dokumentiert werden konnte. Teilweise blieben Veränderungen der HRV aus (Atlaoui et al., 2007; Earnest et al., 2004; Hedelin et al., 2000), vereinzelt nahm diese sogar zu (Pichot et al.,

2002) oder die Ergebnisse ließen keine eindeutige Interpretation zu (Portier et al., 2001). Letztgenannte Autoren konnten bei acht hochtrainierten Ausdauersportlern nach zwölfwöchigem intensivem Ausdauertraining insgesamt eine reduzierte Herzfrequenzvariabilität nachweisen, die jedoch mit erhöhten Werten im HF-Bereich und damit mit einer erhöhten vagalen Aktivität einherging. Die Autoren interpretieren diese Anpassungen der HRV als kennzeichnend für eine Überbelastung und argumentieren, dass auch ein erhöhter Vagotonus durchaus ein durch zu umfangreiches und intensives Ausdauertraining hervorgerufenen Ungleichgewicht der autonomen Balance, im Sinne eines parasympathischen Übertrainingssyndroms (vgl. Israel, 1976), darstellen könne (Portier et al., 2001). Andere Autoren gehen davon aus, dass gegenteilige Veränderungen, also ein Anstieg der sympathischen Aktivität, mit Überbelastungen einhergehen (Winsley et al., 2005).

Iellamo et al. (2002), die in ihrer Studie mit Hochleistungsruderern nachweisen konnten, dass in Phasen höchst intensiven und umfangreichen Trainings die Spektralleistung im HF-Frequenzband im Vergleich zu Normwerten der Sportler signifikant abnahm und während moderaterer Belastungsphasen signifikant anstieg, nehmen an, dass es beim Übergang von submaximalen zu maximalen Belastungsphasen zunächst zu einer Steigerung der Aktivität vagaler und einer Hemmung der Aktivität sympathischer Einflüsse im Sinne einer Trainingsanpassung kommt. Eine weitere Steigerung des Belastungsumfangs über ein kritisches Maß hinaus dagegen führe zu einer Veränderung autonomer Einflüsse und einem Überwiegen sympathischer Einflüsse. In der vorliegenden Studie kam es nicht zu Leistungsminderungen bei denjenigen Sportlern, die im Anschluss an die extrem hohen Belastungsumfänge erfolgreich an einer Weltmeisterschaft teilnahmen. Die Autoren beschreiben daher die beobachteten autonomen Veränderungen als neurovegetative Anpassungen der Sportler im Sinne einer Leistungssteigerung.

Die in den erwähnten Studien dokumentierten Veränderungen der HRV müssen, um auf ihren diagnostischen Nutzen überprüft werden zu können, vor dem Hintergrund der Leistungsentwicklung der untersuchten Sportler interpretiert werden. Ansonsten sind Aussagen darüber, ob die HRV-Parameter eine Verbesserung der (Ausdauer-) Leistungsfähigkeit anzeigen, ein Symptom für Ermüdung oder eine Überbelastung bzw. ein Übertrainingssyndrom darstellen oder alternative systemische Veränderungen repräsentieren könnten, nicht möglich.

Häufig erfolgt jedoch die Bewertung einzelner Studien unabhängig von Angaben zur Leistungsentwicklung. Aus der Tatsache, dass Sportler Überlastungen ausgesetzt wurden, wird die fälschliche Annahme formuliert, dass es sich um Überbelastungen gehandelt habe. Mourot et al. (2004) beispielsweise argumentieren mit Verweis auf Studien von Iellamo et al. (2002) sowie Pichot et al. (2000), dass Überbelastungen sowohl mit einer erhöhten sympathischen als auch mit einer erhöhten parasympathischen Aktivität einhergingen. Keine der von Mourot et al. (2004) zitierten Studien konnte bei den untersuchten Sportlern Leistungsminderungen nachweisen – während Iellamo et al. (2002) Leistungssteigerungen dokumentierten, verzichteten Pichot et al. (2000) auf die Durchführung von Leistungstests. Es kann somit nicht davon ausgegangen werden, dass es sich tatsächlich um Überbelastungen handelte. Vielmehr zeigten sich bei den genannten Studien unterschiedliche Veränderungen der HRV während hoch intensiver und umfangreicher Belastungsphasen.



Wichtig erscheinen zudem Angaben über die vorgenommenen Messzeitpunkte der HRV. Uusitalo et al. (2000), die erhöhte Werte im LF-Bereich im Zusammenhang mit Leistungsminderungen bei Sportlerinnen nachweisen konnten, verzichteten nicht nur auf eine Quantifizierung der zeitlichen Dauer der Pausen zwischen den Trainingseinheiten, sondern auch auf Angaben über die zeitlichen Abstände zwischen durchgeführtem Training und den Messungen der HRV-Parameter. Achten und Jeukendrup (2003, S. 527) verweisen daher auf die Möglichkeit, dass die erhöhten Werte des niedrig frequenten Bereichs von der zuletzt durchgeführten Trainingseinheit beeinflusst worden sein könnten: "Low Frequency Power remains elevated for up to 24 hours after an exercise bout".

Zusammenfassend bleiben in Bezug auf die HRV und deren Einsatz im Bereich der Diagnostik von Überbelastungen folgende Aspekte festzuhalten:

Die Annahme autonomer Dysbalancen im Zusammenhang mit Überbelastungen würde Veränderungen der Herzfrequenzvariabilität implizieren (vgl. Hoos, 2006; Pichot et al., 2002; Uusitalo, 2001; Winsley et al., 2005), Horn (2003, S. 214) vermutet, „dass die quantitativ ausgeprägtesten und zeitlich ausgedehntesten Auslenkungen der autonomen Reaktionslage nach erschöpfenden Beanspruchungen zu erwarten sind.“

Studien mit Sportlern, die einer Überlastung bzw. Extrembelastungen ausgesetzt wurden (Atlaoui et al., 2007; Baumert et al., 2006; Hedelin et al., 2001; Hedelin et al., 2000; Iellamo et al., 2002; Pichot et al., 2002; Portier et al., 2001; Uusitalo et al., 2000; Winsley et al., 2005) sowie Studien mit als überbelastet diagnostizierten Sportlern (Hynynen et al., 2008; Mouroto et al., 2004) stützen diese Vermutung allerdings nur teilweise und konnten keine einheitlichen Ergebnisse aufzeigen.

Bosquet et al. (2008) vermuten zwar, dass die Herzfrequenzvariabilität lediglich als Zeichen kurzfristiger Ermüdung und nicht zur Diagnose längerfristiger Ermüdungserscheinungen genutzt werden kann, dennoch gewinnen Parameter der HRV als Indizien für Anpassungen der (para-)sympathischen Aktivität in der Diagnostik belastungsbedingter Erschöpfung und in der Trainingssteuerung zunehmend an Bedeutung (vgl. Hottenrott et al., 2006; Kiviniemi et al., 2007). Sie gelten an anderer Stelle als vielversprechende Möglichkeit im Hinblick auf die Interpretation von Regenerationsprozessen sowie die Früherkennung von Überbelastungen (vgl. Hedelin, Wiklund et al., 2000; Kayser & Gremion, 2004). Voraussetzung für eine präventive Nutzung der HRV ist jedoch neben einer ausreichend häufigen Messung unter gleich bleibenden Bedingungen eine Dokumentation des Leistungszustands.

Interindividuelle Vergleiche der HRV-Parameter erscheinen fragwürdig. Löllgen (1999) gibt zwar an, dass der rMSSD-Wert als Parameter der vagal modulierten Schlag-zu-Schlag-Variabilität bei Ausdauersportlern um das 3-4fache über dem Referenzwert der Normalpopulation, welcher mit 27 ms angegeben wird, liege – um der individuellen und biologischen Variabilität dieses Parameters Rechnung zu tragen, erscheinen persönliche Referenzwerte und intraindividuelle Vergleiche bei regelmäßig durchgeführten Messungen jedoch sinnvoller als ein Vergleich unterschiedlicher Personengruppen.

### 3.3.3 Laktat

#### 3.3.3.1 Physiologische Grundlagen

Sportliche Ausdauerleistungen basieren auf dem Herzleistungsvermögen, der Transportkapazität des Blutkreislaufsystems und der metabolischen Kapazität der Arbeitsmuskulatur. Letztere umfasst die verschiedenen Prozesse der Energiegewinnung, die die Effizienz der Umsetzung des vorhandenen Energiepotenzials in Bewegungsleistung entscheidend beeinflussen (Martin et al., 1993). Die anaerob-laktazide Form der Energiebereitstellung ist einer dieser Prozesse und soll im Folgenden stark vereinfacht und in Orientierung an die Standardwerke von de Marées (2003), Martin et al. (1993), Shephard, Rost und Åstrand (1993) und Klinker et al. (2005) in kurzer Form dargestellt werden.

Abhängig von der Intensität und Art der sportlichen Belastung, dem Umfang der rekrutierten Muskelgruppen sowie dem Trainingszustand eines Sportlers entsteht bei sportlicher Tätigkeit unterschiedlich schnell bzw. viel Laktat in den arbeitenden Muskelzellen. Sind die muskeleigenen Adenosintriphosphat- und Kreatinphosphatspeicher aufgebraucht und reicht der intrazelluläre Sauerstoffgehalt nicht aus, um vorwiegend über oxidative Prozesse aus den Vorräten an Fett und Glykogen Energie (in Form von Adenosintriphosphat, ATP) bereitzustellen, gewinnt die anaerob-laktazide Form der Energiebereitstellung an Bedeutung – und wird mit zunehmender Dauer und Intensität der Belastung zum leistungslimitierenden Faktor.

Die über Glykogenspaltung gewonnenen Glukosemoleküle werden in der sogenannten Glykolyse schrittweise mittels nacheinander wirksamer Enzyme über mehrere Reaktionsschritte zu energetisch nutzbarem ATP und Pyruvat abgebaut. Letzteres wird im Verlauf folgender Reaktionsschritte in aktivierte Essigsäure (Acetyl-CoA) umgewandelt, die in weiteren Prozessen (Zitronensäurezyklus und Atmungskette) aerob unter Bildung von ATP weiter abgebaut wird.

Wird infolge einer Steigerung des Energiebedarfs mehr Pyruvat gebildet, als über oxidative Prozesse verarbeitet werden kann, erfolgt eine Übertragung von Elektronen und Wasserstoff von NADH (Nicotinamid–Adenin–Dinukleotid-Hydroxyen) auf Pyruvat, wodurch Laktat und das für den weiteren Verlauf der Glykolyse notwendige NAD<sup>+</sup> (Nicotinamid-Adenin-Dinukleotid) entsteht. Somit ist eine fortlaufende aerobe wie anaerobe Verstoffwechslung von Glukose zu Pyruvat gewährleistet (vgl. de Marées, 2003).

Die über anaerob-laktazide Prozesse gewonnene Menge an ATP ist weitaus niedriger als bei der aeroben Oxidation. Bei letzterer ist der Glukoseverbrauch für die gleiche Menge an ATP in etwa zehn Mal geringer (de Marées, ebenda).

Nach Martin et al. (1993) ist die Laktatbildung das Resultat einer hohen Konzentration von ionisiertem Wasserstoff und einem sauren Milieu in den Sarkomeren der Muskelzelle. Laktat ist somit nicht für die muskuläre Übersäuerung verantwortlich, sondern wirkt dieser durch die Laktatdehydrogenase (LDH) und der Aufnahme von Wasserstoffionen entgegen. Reicht die Laktatbildung zur Protonenelimination nicht mehr aus, beeinflusst die Wasserstoffionenkonzentration zahlreiche Stoffwechselprozesse, unter anderem wird das bei der Glykolyse wichtigste regulierende Enzym Phosphofruktokinase (PFK) gehemmt, was die ATP-Resyntheserate und damit die fortlaufende Muskelkontraktion negativ beeinträchtigt (vgl. de Marées, 2003). Die Protonen können nach Lehnertz (1985) auch die Wirkungsstellen des Kalziums blockieren, die

Kraft bildende Wechselwirkung zwischen Troponin und Calcium wird somit behindert und einer Übersäuerung und Zellschädigung vorgebeugt.

Der Abbau des angefallenen Laktats erfolgt über die durch das Enzym LDH katalysierte umgekehrte Reaktion, die Oxidation von Laktat zu Pyruvat unter Bildung von NADH und H<sup>+</sup>. Bei geringer bis mittlerer Intensität geschieht diese Reaktion hauptsächlich im Muskel selbst, weiterhin diffundiert Laktat aus der Muskelzelle in benachbarte und inaktive rote Muskelzellen und in die Blutbahn, von wo aus es zum Herzmuskel und in die Leber transportiert wird. Auch dort erfolgt mittels Glukoneogenese eine Umwandlung von Laktat zu Glukose und Glykogen.

Die Laktatkonzentration im Blut reguliert sich in Abhängigkeit von den Glykogenvorräten in der Muskulatur – bei hohen intramuskulären Glykogenvorräten kommt es zu einem schnelleren Anstieg der Laktatkonzentration als bei glykogenverarmter Muskulatur (Klinke et al., 2005) – und ist somit trainingsabhängig. Eine Reduktion submaximaler und maximaler Laktatwerte bei gleicher erbrachter Leistung wird als Indiz für eine positive Anpassung an sportliche Belastung angesehen (vgl. Gaesser & Poole, 1988; Held & Marti, 1999), kann jedoch auch Indiz einer Überbelastung oder eines Übertrainingssyndroms sein (Jeukendrup & Hesselink, 1994).

Jeukendrup und Hesselink (ebenda) nennen drei Erklärungsmechanismen für eine Abnahme (sub)maximaler Laktatwerte:

- eine verminderte sympathische Regulation des autonomen Nervensystems oder aber eine verminderte Katecholaminsensitivität
- ein Glykogenmangel aufgrund anhaltender intensiver Belastungsformen
- eine Verbesserung der Abbaurate von Laktat als positiver Anpassungsmechanismus auf hohe Belastungsanforderungen

Mit Verweis auf Studien, die Überbelastungen und reduzierte submaximale bzw. maximale Laktatwerte trotz gefüllter Glykogenspeicher nachweisen konnten (Jeukendrup & Hesselink, 1994; Snyder et al., 1995), und vor dem Hintergrund, dass ein positiver Anpassungsmechanismus bei einer vorliegenden Leistungsminderung auszuschließen ist, werden autonomen Steuerungsprozessen und hormonellen Dysfunktionen im Zusammenhang mit Überbelastungen eine besondere Bedeutung zugeschrieben (Bosquet et al., 2001).

Ergebnisse von Lehmann, Baumgartl et al. (1992) deuten jedenfalls darauf hin, dass verminderte Katecholaminausscheidungen mit reduzierten Laktatwerten einhergehen könnten. Dem Hypothalamus als übergeordnetem Regulations- und Steuerungszentrum, das Anpassungen des inneren Milieus über das vegetative Nervensystem und Hormone generiert, könnte somit eine entscheidende Rolle bei der Genese von Symptomen im Zusammenhang mit Überbelastungen – und damit auch reduzierten Laktatwerten – zukommen.

### 3.3.3.2 Bisherige Studienergebnisse Laktat

Veränderungen submaximaler bzw. maximaler Laktatwerte bei Sportlern zeigten sich während unterschiedlich lang andauernder Trainingsinterventionen bzw. intensiver Trainings- und Wettkampfphasen teilweise unabhängig vom Auftreten von Leistungsminderungen.

Studien, die im Anschluss an intensive Belastungsphasen Leistungsminderungen zwischen 4 und 56 % dokumentierten (Bosquet et al., 2001; Coutts, Wallace et al., 2007; Coutts, Slaterry et al., 2007; Coutts, Reaburn et al., 2007; Fry et al., 1994; Halson et al., 2002; Halson et al., 2003; Hedelin, Kenttä et al., 2000; Jeukendrup et al., 1992; Uusitalo et al., 1998), konnten mitunter keine Veränderungen maximaler (Coutts, Reaburn et al., 2007; Uusitalo et al., 1998) bzw. submaximaler und maximaler Laktatwerte nachweisen (Coutts, Slaterry et al., 2007; Coutts, Wallace et al., 2007; Fry et al., 1994; Halson et al., 2002; Halson et al., 2003). Uusitalo et al. (1998), die die an ihrer Studie teilnehmenden Ausdauersportlerinnen als überbelastet bezeichneten, wiesen mit 56 % die deutlichsten Leistungsminderungen nach der sechs- bis neunwöchigen Intervention nach.

Auch Halson et al. (2002) und Fry et al. (1994) dokumentierten konstante submaximale und maximale Laktatwerte bei als überbelastet diagnostizierten Radfahrern nach zweiwöchigem intensivierten Training bzw. bei Soldaten im Anschluss an eine zehntägige Intervention bei gleichzeitig deutlichen Leistungsminderungen zwischen 5 und 29 %. Ähnliche Ergebnisse wiesen Coutts, Reaburn et al. (2007), Coutts, Slaterry et al. (2007) und Coutts, Wallace et al. (2007) bei als überbelastet diagnostizierten Rugbyspielern bzw. Triathleten nach.

Jeukendrup et al. (1992) dagegen stellten um 42 % reduzierte maximale Laktatwerte in Verbindung mit Leistungsminderungen von 4 % nach zweiwöchiger Trainingsintervention bei sieben als überbelastet bezeichneten Radsportlern fest. Gleichzeitig waren die submaximalen Laktatwerte im Anschluss an die Intervention deutlich reduziert, normalisierten sich jedoch, ebenso wie die maximalen Laktatwerte, innerhalb einer anschließenden zweiwöchigen Regenerationsphase.

Auch Hedelin, Kenttä et al. (2000) wiesen in einer sechstägigen Untersuchung an Kanuten Leistungsminderungen (6 %) nach, die mit reduzierten maximalen Laktatwerten (minus 14 %) einhergingen – die submaximalen Laktatwerte blieben jedoch konstant. Bosquet et al. (2001) dokumentierten um 20 % reduzierte maximale Laktatwerte bei Ausdauersportlern, bei denen nach dreiwöchiger Intervention ein Übertrainingssyndrom und Leistungsminderungen um bis zu 25 % diagnostiziert wurden.

Krause und Weiß (2002), Urhausen et al. (1998) und Vogel et al. (2001) konnten mittels langfristig angelegter Beobachtungsstudien reduzierte maximale Laktatwerte im Zusammenhang mit einer eingeschränkten Leistungsfähigkeit bei Ausdauersportlern der Disziplinen Laufen und Schwimmen während Phasen intensiver Trainings- oder Wettkampfbelastungen nachweisen. Hooper et al. (1995) dagegen fanden während einer sechsmonatigen Beobachtungsstudie keine reduzierten maximalen Laktatwerte bei Schwimmern trotz diagnostizierter Leistungsminderungen.

Studien, die während hochintensiver Trainingsphasen keine Leistungsminderungen bei den teilnehmenden Sportlern dokumentierten, konnten unabhängig von der Dauer der Interventionen oder Belastungsphasen zumeist auch keine veränderten submaximalen (Garcin et al., 2002; Lehmann et al., 1991) bzw. maximalen Laktatwerte nachweisen (Billat et al., 1999; Garcin et al., 2002; Rietjens et al., 2005; Snyder et al., 1995; Steinacker et al., 2000). Garcin et al. (2002), Lehmann et al. (1991), Rietjens et al. (2005), Snyder et al. (1995) sowie Steinacker et al. (2000) gehen dennoch von vorliegenden Überbelastungen bei den teilnehmenden Sportlern aus.

Costill et al. (1988) konnten zwar keine schwimmspezifischen Leistungsminderungen bei zwölf hoch trainierten Schwimmern nachweisen, jedoch einen reduzierten Muskelglykogengehalt nach einer zehntägigen Intervention und eine Verringerung submaximaler Laktatwerte um bis zu 47 %.

Die Autoren konnten belegen, dass das Anstrengungsempfinden der Sportler mit Abnahme des Glykogengehalts der Muskulatur deutlich zunahm. Gleichzeitig konnte dokumentiert werden, dass diejenigen Schwimmer, die die geplante Erhöhung des Belastungsumfangs nicht tolerierten (33 %), weniger Kohlenhydrate konsumiert hatten als ihre leistungsstärkeren Kollegen. Costill et al. (ebenda) vermuten daher einen reduzierten Glykogengehalt als Ursache für die reduzierte Belastungstoleranz.

Snyder et al. (1995), die acht Radsportler anhand vordefinierter Diagnoseparameter nach einer fünfzehntägigen Intervention als „übertrainiert“ ('overtrained') bezeichneten, obwohl die ermittelten Leistungsminderungen minimal und daher nicht signifikant waren, führten bei den Sportlern eine tägliche Kohlenhydratsupplementierung durch. Die Autoren wollten nachweisen, dass Überbelastungen auch bei optimal gefüllten Glykogenspeichern auftreten können. Die maximalen Laktatwerte blieben trotz einer tendenziellen Verminderung auf gleichem Niveau, die submaximalen Laktatwerte zeigten sich auf mehreren Belastungsstufen signifikant reduziert.

Lehmann, Baumgartl et al. (1992) konnten trotz konstanter Leistungsfähigkeit um 23 % reduzierte maximale Laktatwerte bei acht Ausdauersportlern nach dreiwöchiger Intervention feststellen. Ähnliche Ergebnisse dokumentierten Foster, Snyder, Thompson und Kuettel (1988), die reduzierte submaximale und maximale Laktatwerte bei Sportlern im Anschluss an eine dreitägige Trainingsphase mit verdoppeltem Belastungsumfang nachwiesen, ohne dass Leistungsminderungen auftraten.

Einen Überblick über bisherige Studienergebnisse gibt Tabelle 9.

*Tab. 9: Tabellarischer Überblick über bisherige Studienergebnisse zum Laktatverhalten.*

<b>Autoren</b>	<b>Anzahl TN/Sportart</b>	<b>Dauer Intervention/Art der Belastungserhöhung</b>	<b>Ergebnisse</b>
Billat et al. (1999)	n = 8 (Ausdauer)	6 Wochen Erhöhung der Anteile intensiven Intervalltrainings	max. lac. →
Bosquet et al. (2001)	n = 10 (Ausdauer)	3 Wochen Belastungsumfang plus 100 %	max. lac. ↓ (20 %)
Costill et al. (1988)	n = 12 (Schwimmen)	10 Tage Belastungsumfang plus 100 %	submax. lac. ↓ (minus 47 %)
Coutts, Reaburn et al. (2007)	n = 7 (Rugby)	6 Wochen Belastungsumfang plus 100 %	max. lac. →
Coutts, Slattery et al. (2007); Coutts, Wallace et al. (2007)	n = 8 (Triathlon)	4 Wochen intensivierte Training	submax. lac. →, max. lac. →
Dressendorfer et al. (1985)	n = 12 (Ausdauer)	20 Tage Ultramarathon über 500 Kilometer	Ruhelaktat →

Autoren	Anzahl TN/Sportart	Dauer Intervention/Art der Belastungserhöhung	Ergebnisse
Foster et al. (1988)	n = 10 (Freizeit- sportler)	3 Tage Belastungsumfang plus 100 %	submax. lac. ↓, max. lac. ↓
Fry et al. (1994)	n = 5 (Soldaten)	10 Tage 2 x tägliches Intervall- training	max. lac. →, submax. lac. →
Garcin et al. (2002)	n = 8 (Ausdauer)	8 Wochen 5 x wöchentliches Training	max. lac. →
Halsen et al. (2002)	n = 8 (Radsport)	2 Wochen intensiviertes Training	max. lac. →
Hedelin, Kenttä et al. (2000)	n = 9 (Kanu)	6 Tage Belastungsumfang plus 50 %	max. lac. ↓ (minus 14 %), submax. lac. →
Hooper et al. (1995)	n = 14 (Schwimmen)	6 Monate	max. lac. →
Jeukendrup et al. (1992)	n = 7 (Radsport)	2 Wochen hoch intensives Intervalltraining	max. lac. ↓ (42 %), submax. lac. ↓
Lehmann, Baumgartl et al. (1992); Lehmann et al. (1991)	n = 8 (Ausdauer)	3 Wochen Belastungsumfang plus 100 %	Ruhelaktat → submax. lac. → max. lac. ↓ (23 %)
Lehmann et al. (1993)	n = 6 (Freizeit- sportler)	6 Wochen 6 x wöchentliches Training nach der Dauer- und Intervallmethode	max. lac. → submax. lac. → (beide Werte leicht, aber nicht signifikant reduziert)
Rietjens et al. (2005)	n = 7 (Radsport)	2 Wochen Belastungsumfang plus 100 % Belastungsintensität plus 15 %	max. lac. →
Snyder et al. (1995)	n = 8 (Radsport)	15 Tage Belastungsumfang plus 44 %; Erhöhung intensiver Trainings- inhalte	max. lac. →, submax. lac. ↓
Steinacker et al. (2000)	n = 10 (Rudern)	18 Tage Belastungsumfang plus 130 %	max. lac. →
Urhausen et al. (1998)	n = 17	19 Monate	submax. lac. →, max. lac. ↓ (18 %)
Uusitalo et al. (1998)	n = 9	6-9 Wochen Belastungsumfang + 100 % intensive Trainingsinhalte + 130 %	max. lac. →

<b>Autoren</b>	<b>Anzahl TN/Sportart</b>	<b>Dauer Intervention/Art der Belastungserhöhung</b>	<b>Ergebnisse</b>
Vogel et al. (2001)	n = 11 (Ausdauer)	9 Monate	max. lac. ↓ (bei einer überbelasteten Sportlerin)

### 3.3.3.3 Diskussion der Studienergebnisse zum Laktatverhalten

Da die Bestimmung von Laktatwerten bei stufenförmigen Leistungstests häufig routinemäßig durchgeführt wird, ist die Frage, ob Laktat als diagnostisches Kriterium für eine Überbelastung bzw. ein Übertrainingssyndrom in Ausdauersportarten eingesetzt werden kann, von besonderem Interesse. Paradoxerweise scheinen jedoch sowohl optimales Ausdauertraining als auch eine Überbelastung bzw. ein Übertrainingssyndrom eine Rechtsverschiebung der Laktatkurve zu verursachen (Bosquet et al., 2001; Gleeson, 1998).

Zwar gehen MacArdle et al. (1991) davon aus, dass maximale Laktatwerte durch Ausdauertraining generell unbeeinflusst bleiben, Untersuchungen von Held und Marti (1999) konnten jedoch zeigen, dass trainierte Ausdauersportler geringere submaximale und maximale Laktatwerte aufweisen als Untrainierte. Auch Gullstrand (1993), Mayes, Hardman und Williams (1987) sowie Tschopp, Held, Villiger und Marti (2001) assoziieren – eine Ausbelastung sowie gefüllte Glykogenspeicher vorausgesetzt – eine Zunahme aerober Leistungsfähigkeit mit erniedrigten maximalen Laktatwerten.

Somit erscheint aufgrund oben erwähnter Problematik die Interpretation reduzierter Laktatwerte bei stark ermüdeten oder überbelasteten Ausdauersportlern besonders anfällig für Fehleinschätzungen zu sein.

Bosquet et al. (2001) schlagen daher vor, submaximale Laktatwerte nicht in absoluten Werten (Laktatkonzentration in mmol/l), sondern als Prozentwerte in Relation zu den maximal erreichten Laktatwerten darzustellen. Liegt in dieser Form eine Rechtsverschiebung der Laktatkurve vor, vermuten die Autoren eine gesteigerte Laktatnutzung und damit verbunden eine erhöhte Leistungsfähigkeit (vgl. Foster et al., 1988).

Snyder, Jeukendrup, Hesselink, Kuipers und Foster (1993) kombinierten gemessene Laktatwerte mit subjektiven Angaben über den Grad der Belastung (RPE) und gingen davon aus, dass im Falle einer Überbelastung oder eines Übertrainingssyndroms der Quotient von Laktat zu RPE geringere Werte aufzeigen würde. Die Autoren bestätigten diesen Fall für die untersuchten Teilnehmer, die allesamt als „übertrainiert“ (overtrained) diagnostiziert wurden (Snyder et al., 1995). Bosquet et al. (2001) jedoch schreiben die bei eigenen Untersuchungen beobachteten Veränderungen der auf diese Art ermittelten Werte hauptsächlich den gemessenen Laktatwerten zu. Sie bezweifeln daher die Brauchbarkeit eines solchen Quotienten für die Diagnose einer Überbelastung. Dennoch könnten Angaben zum Anstrengungsempfinden im Hinblick auf ein engmaschiges Monitoring von Athleten von weiterem Nutzen sein und helfen, Laktatwerte eindeutiger zu interpretieren.

Notwendig erscheint eine Unterscheidung der Ursachen reduzierter Laktatwerte – diese können, wie bereits erwähnt, zum einen eine trainingsbedingte Anpassung an sportliche Ausdauerbelastungen darstellen und eine bessere Verwertbarkeit des Laktats durch die arbeitende Muskulatur und andere Organe anzeigen (vgl. Donovan & Brooks, 1983), andererseits jedoch auch eine eingeschränkte Fähigkeit des Muskels, Laktat zu bilden (vgl. Bosquet et al., 2001).

Untersuchungen von Costill et al. (1988) sowie Roeykens, Magnus, Rogers, Meeusen und de Meirleir (1998) lassen vermuten, dass ein reduzierter Glykogengehalt der Muskulatur ursächlich mit verantwortlich für eine reduzierte Laktatbildungsfähigkeit sein könnte (vgl. Foster et al., 1988; Janssen, 2001; Schulz, Roßkothén & Heck, 1998). Dennoch muss eine eingeschränkte Laktatbildung, die mit reduzierten Glykogenspeichern einhergeht, nicht zwangsläufig zu Leistungsminderungen führen, auch wenn ein gesteigertes Anstrengungsempfinden der Sportler einen leistungslimitierenden Einfluss der Glykogenspeicher vermuten ließe (vgl. Costill et al., 1988). Denkbar ist auch, dass bei der Ermittlung maximaler Laktatwerte die Auswahl der Ausbelastungstests von Bedeutung ist und zu unterschiedlichen Ergebnissen führen könnte.

Die Studie von Snyder et al. (1995) gilt vielfach als Beleg dafür, dass Überbelastungen auch bei gefüllten Glykogenspeichern auftreten können (vgl. Jeukendrup & Hesselink, 1994). Vielmehr stellt sich aufgrund der vorliegenden Untersuchung jedoch die Frage, inwieweit die von den Autoren für sämtliche Teilnehmer getroffene Diagnose einer Überbelastung vor dem Hintergrund ausgebliebener Leistungsminderungen gültig sein kann. Die Ergebnisse könnten beispielsweise ebenso die Vermutung zulassen, dass ohne entleerte Glykogenspeicher keine signifikanten Leistungsmininderungen bei stufenförmigen Ausbelastungstests entstehen.

Welche ursächliche Rolle entleerte Glykogenspeicher bei Leistungsminderungen im Ausdauerbereich und der Genese von Überbelastungen spielen könnten, erscheint spekulativ – und auch der Zusammenhang mit dem Auftreten reduzierter Laktatwerte bleibt ungeklärt. So ist es zwar wahrscheinlich, dass reduzierte Glykogenspeicher die Laktatbildung einschränken, doch auch bei gefüllten Glykogenspeichern können die Laktatwerte, zumindest im niedrigen bis mittleren Intensitätsbereich, reduzierte Werte aufweisen (vgl. Snyder et al., 1995).

Letztgenannte Autoren gehen jedenfalls davon aus, dass entleerte Glykogenspeicher einen Auslösemechanismus für die Entstehung eines Übertrainingssyndroms darstellen könnten.

Die Durchsicht verwendeter Diagnoseparameter für eine Überbelastung oder ein Übertrainingssyndrom zeigt, dass grundsätzlich reduzierte maximale Laktatwerte im Zusammenhang mit Überbelastungen vermutet werden (vgl. Jeukendrup & Hesselink, 1994; Kayser & Gremion, 2004; Kindermann, 1986; MacKinnon, 2000; Meeusen et al., 2008; Pearce, 2002; Snyder et al., 1995; Urhausen et al., 1998; Urhausen & Kindermann, 2002a; Urhausen & Kindermann, 2002b; Vogel et al., 2001). Einige Untersuchungen konnten dies bestätigen (Bosquet et al., 2001; Hedelin et al., 2000; Jeukendrup et al., 1992; Urhausen et al., 1998), andere blieben den Nachweis schuldig (Coutts, Reaburn et al., 2007; Coutts, Slattery et al., 2007; Coutts, Wallace et al., 2007; Fry et al., 1994; Halson et al., 2002; Halson et al., 2003; Uusitalo et al., 1998).

Urhausen und Kindermann (2000) gehen davon aus, dass im Zusammenhang mit Übertrainingssyndromen – zumindest bei ausdauerorientierten Sportlern – maximale Laktatwerte reduziert sind (vgl. Urhausen & Kindermann, 2002b). Der submaximale Laktatkurvenverlauf jedoch sei beim Übertrainingssyndrom „diagnostisch nicht verwertbar“ (Urhausen & Kindermann, 2000, S. 229), obwohl die Autoren an anderer Stelle auf leicht reduzierte submaximale Laktatwerte im Zusammenhang mit dem Auftreten eines Übertrainingssyndroms hinweisen (Urhausen & Kindermann, 2002a). Ähnlich argumentieren Meeusen et al. (2006), die nur reduzierte maximale Laktatwerte bei Ausdauer- oder Kraftausdauersportarten als diagnostisch relevant ansehen, während Bosquet et al. (2001) postulieren, dass eine Reduzierung submaximaler Laktatwerte als möglicher Marker für ein Übertrainingssyndrom angesehen werden kann (vgl. Gleeson, 1998).



Wie auch bei der maximalen Herzfrequenz ist es nicht grundsätzlich auszuschließen, dass reduzierte maximale Laktatwerte auch das Resultat einer geringeren Belastungszeit sein können und die ursächlich leistungslimitierenden Faktoren an anderer Stelle zu suchen sind. Erschwerend kommt zudem hinzu, dass auch alternative Erklärungsfaktoren, wie beispielsweise trainingsbedingte Muskelschädigungen, zumindest submaximale Laktatwerte beeinflussen können (vgl. Gleeson, Blannin, Walsh, Field & Pritchard, 1998).

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass bisherige Studienergebnisse kein einheitliches Bild bezüglich Veränderungen submaximaler und maximaler Laktatwerte im Zusammenhang mit Leistungsminderungen zeichnen.

Unabhängig davon, dass die Diagnose einer Überbelastung häufig zu hinterfragen ist und eine Leistungsminderung auch Resultat einer normalen Ermüdung sein kann, ist anhand der dargestellten Studien und obiger Ausführungen ersichtlich, dass reduzierte submaximale und maximale Laktatwerte allein kaum diagnostisch verwertbar sind. Erst wiederholte Messungen und die Darstellung von Parameterverläufen vor dem Hintergrund von Leistungsparametern, Trainingsbelastungen und möglichen (Muskel-)Verletzungen dürften – möglicherweise in Kombination mit weiteren Diagnoseparametern – eine hinreichende Basis darstellen, um Laktatwerte vor dem Hintergrund ihres diagnostischen Nutzens diskutieren zu können.

### 3.3.4 *Befindlichkeit*

Befindlichkeiten sind zu unterscheiden von zielgerichteten und kurzfristiger wirkenden Emotionen und bedürfen nicht zwangsläufig eines äußeren Anlasses. Sie sind andererseits zeitlich weniger stabil und durch äußere und innere Faktoren stärker beeinflussbar als Persönlichkeitseigenschaften (Abele-Brehm & Brehm, 1986), wenn auch von diesen beeinflusst (vgl. Goss, 1994).

„Das Konstrukt der Befindlichkeit (Synonym: Stimmung; engl.: mood) bezieht sich auf die Beschreibung des momentanen, aktuellen psycho-physischen Zustands eines Individuums“ (Abele-Brehm & Brehm, 1986, S. 209).

Gendolla (2000) beschreibt Befindlichkeiten als diffuse und lang anhaltende affektive Zustände, die nicht objektbezogen sind. Nach Robinson (2000) fungieren sie als eine Art hedonistische Zusammenfassung kürzlicher Lebenserfahrungen, die die Person über Fortschritte und Perspektiven in Bezug auf als wichtig erachtete Lebensbereiche informiert. Der Autor schreibt der Befindlichkeit somit eine reaktive und eine prospektive Funktion zu: Sie repräsentiert einerseits das augenblickliche Verhältnis zwischen vorhandenen persönlichen Ressourcen und äußeren Anforderungen der Lebenssituation (vgl. Morris, 1992) und andererseits gleichzeitig die Erfolgsaussichten zukünftiger zielgerichteter Handlungen (Batson, Shaw & Oleson, 1992). Die Bewertung dieses Ist- bzw. Soll-Zustands erfolgt automatisch und unbewusst. Die Funktion von Stimmungen bzw. Befindlichkeiten ist demnach die Bewusstmachung dieser von Robinson (2000) beschriebenen unbewusst wirkenden Evaluationsprozesse.

Zwar haben nach Gendolla (2000) Befindlichkeiten keine spezifische motivationale Funktion und Bestimmung, können aber dennoch Einfluss auf die Initiierung, Intensität und Dauer von Verhalten haben. In seinem Modell „*Befindlichkeit und Verhalten*“ (*“Mood-Behavior-Model”*) schreibt er Befindlichkeit einen informativen und direktiven Einfluss auf Verhalten zu. Das heißt, dass die

aktuelle Befindlichkeit einer Person zum einen deren verhaltensbezogenen Bewertungen und damit die Wahrnehmung von Situationen beeinflusst und somit letztendlich auch die Dauer und Intensität ausgeübten Verhaltens. Zum anderen werden direktiv verhaltensbezogene Präferenzen beeinflusst, indem – spezifische Bedingungen vorausgesetzt – positive Affekte zu maximieren und negative Effekte zu minimieren versucht werden (Gendolla, ebenda).

Robinson (2000, S. 147) unterscheidet in seinem Mediationsmodell zwischen Befindlichkeit und kognitivem Wohlbefinden ("global assessment of a person's quality of life according to his (or her) own chosen criteria"), das er als zeitlich stabiler und als ein der Befindlichkeit übergeordnetes Konstrukt ansieht. Die Befindlichkeit fungiert demnach als Mediator zwischen Lebensereignissen und kognitivem Wohlbefinden. Nur Lebensereignisse, die die Befindlichkeit nachhaltig beeinflussen, können demnach eine destabilisierende Wirkung auf das kognitive Wohlbefinden entfalten. Auch hier filtern Stimmungen die Wahrnehmung äußerer Ereignisse und haben somit Einfluss auf nachfolgende reaktive Handlungen.

Robinsons Modell ist in Abbildung 12 dargestellt.

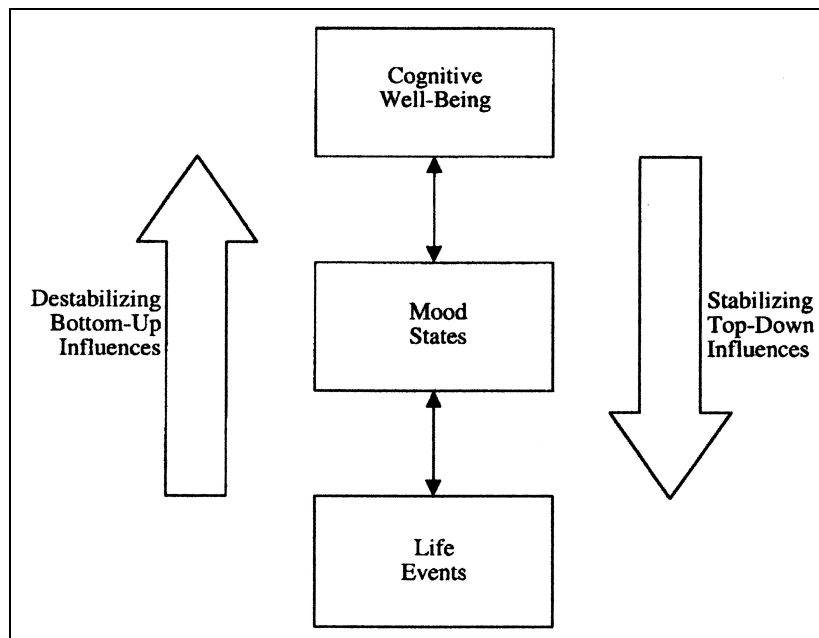


Abb. 12: Mediationsmodell nach Robinson (2000, S. 151)

### 3.3.4.1 Erklärungsansätze für Befindlichkeitsveränderungen durch sportliches Training

Es stellt sich grundsätzlich die Frage, warum ein Zusammenhang zwischen Trainings- und Wettkampfbelastung und der Befindlichkeit von Sportlern besteht und welche Erklärungsmechanismen hierfür plausibel erscheinen.

Ausgehend von Robinsons Modell repräsentiert die Befindlichkeit eine individuelle Bewertung derjenigen Lebensbereiche von Menschen, die diesen wichtig erscheinen. Da dies bei Sportlern für die sportliche Leistungsfähigkeit zutreffen sollte, muss ein Ungleichgewicht zwischen persönlicher Erwartungshaltung oder Zielorientierung sowie erreichten sportlichen Leistungen bzw. zwischen äußeren Belastungsanforderungen sowie der individuellen Belastbarkeitstoleranz zu einer Beeinträchtigung der Befindlichkeit führen. Das unmittelbare Leistungsvermögen bzw. der daraus resul-

tierende sportliche Erfolg eines Athleten übt also dann einen direkten Einfluss auf dessen Befindlichkeit aus, wenn sportliche Leistungsfähigkeit als ein ausreichend relevanter Aspekt erachtet wird.

Auch kann eine bewusst oder unbewusst wahrgenommene Diskrepanz zwischen Beanspruchung und Ermüdung sowie eine subjektiv wahrgenommene Überforderung im Hinblick auf aktuelle oder zukünftige Belastungssituationen in eine verminderte Befindlichkeit resultieren. Diese signalisiert dem Athleten, den Leistungsanforderungen aktuell nicht ausreichend zu genügen – sind zusätzlich auch zukünftige Erfolgsaussichten gering, werden negative Affekte verstärkt, was im Extremfall destabilisierend auf das kognitive Wohlbefinden und allgemein und diffus wirken kann (Robinson, 2000).

Fühlt der Sportler sich überlastet und den an ihn gestellten Anforderungen nicht gewachsen, besteht nach Gendollas Modell die Gefahr, dass die weiteren Bewertungen der aktuellen Situation durch eine bereits bestehende negative Stimmungslage weiterhin verschlechtert werden. Das Gefühl von Müdigkeit könnte die Wahrnehmung des Sportlers dahingehend steuern, dass weitere Hinweisreize für Energielosigkeit verstärkt wahrgenommen werden (Gendolla, 2000).

Die von Gendolla beschriebene Tendenz, sich grundsätzlich in eine positive Stimmung versetzen zu wollen, könnte den Sportler dazu bewegen, die sportliche Tätigkeit zeitweise oder grundsätzlich zu beenden. Der direktive Einfluss von Befindlichkeiten auf Verhalten ist jedoch beschränkt und das Bedürfnis, sich gut zu fühlen, nicht ausreichend, regulierendes Verhalten zu initiieren. Dieses setzt grundlegend die Anwesenheit alternativer Handlungsmöglichkeiten zur Befriedigung hedonistischer Motive voraus, ist also motiv- und kontextabhängig (Gendolla, ebenda).

Peluso und de Andrade (2005) beschreiben zusätzliche physiologische und psychologische Hypothesen, die den Einfluss sportlichen Trainings auf die Befindlichkeit erklären könnten. Auf physiologischer Ebene nennen die Autoren die Wirkmechanismen der als Neuromodulatoren bezeichneten Monoamine (vgl. Meeusen et al., 2007) sowie der als Neuropeptide bezeichneten Endorphine, vor allem des beta-Endorphins (vgl. Anish, 2005). Möglicherweise wirken diese auf das zentrale Nervensystem und könnten somit einen weiteren Erklärungsmechanismus für den Einfluss sportlichen Trainings auf die Befindlichkeit liefern (Peluso & de Andrade, 2005).

Auf psychologischer Ebene verweisen die Autoren (ebenda) auf die Aspekte Ablenkung, Selbstwirksamkeit und soziale Interaktion, die allesamt das mentale Wohlbefinden durch moderates Sporttreiben mit erklären könnten. Vermutet wird grundsätzlich ein Zusammenwirken verschiedener physiologischer und psychologischer Faktoren auf individueller Ebene bei Befindlichkeitsveränderungen durch sportliches Training.

#### 3.3.4.2 Instrumente zur Erfassung der Befindlichkeit

Zur Messung und Erfassung der Befindlichkeit im Sportbereich existieren unterschiedliche Möglichkeiten. Das am häufigsten angewandte Vorgehen ist die Selbsteinschätzung der Befindlichkeit durch die untersuchten Personen mittels Itemvorgaben. Als geeignete Fragebögen haben sich neben dem häufig eingesetzten Profile of Mood States (POMS) von McNair, Lorr und Droppleman die Eigenzustandsskala (EZ-Skala) nach Nitsch, der DALDA-Fragebogen (Daily Analysis of Life Demands) nach Rushall, der Erholungs-Belastungs-Fragebogen (EBF-Sport; engl.:

Recovery Stress Questionnaire Sport) nach Kellmann und Kallus sowie die Befindlichkeitsskalen von Abele-Brehm und Brehm erwiesen (vgl. Kellmann & Golenia, 2003; Meeusen et al., 2006).

Der POMS ermittelt Werte für die Kategorien *Anspannung*, *Niedergeschlagenheit*, *Missmut*, *Tatendrang*, *Müdigkeit* und *Verwirrtheit* und zeigt damit deutliche Ähnlichkeiten zu den Befindlichkeitsskalen, die Werte für *Ärger*, *Erregtheit*, *Aktiviertheit*, *gehobene Stimmung*, *Ruhe*, *Besinnlichkeit*, *Energielosigkeit* und *Deprimiertheit* bestimmen.

Die Eigenzustandsskala nach Nitsch bezieht auch motivationale und soziale Parameter wie *Anstrengungsbereitschaft*, *Kontaktbereitschaft* und *soziale Anerkennung* mit ein, der DALDA-Fragebogen allgemeine Stressfaktoren außerhalb des sportlichen Kontextes wie *Ernährung*, *Arbeitsumfeld*, *Familie*, *Freunde*, *Training*, *Schlaf*, *Klima*, *Erholung* und *Gesundheit* sowie *Stress* in Bezug auf körperliche Beschwerden, *Müdigkeit*, *Langeweile* und *Verwirrtheit*. Auch der Erholungs-Belastungs-Fragebogen unterscheidet zwischen allgemeinen Belastungs- und Erholungsparametern und sportartspezifischen Belastungs- und Erholungsfaktoren. Speziell die Fragen zu den allgemeinen Erholungsparametern erscheinen während länger andauernder Wettkampfphasen jedoch nicht relevant. Im Hinblick auf eine möglichst schnelle Bearbeitung der Fragebögen und eines sportspezifischen Kontextes erscheinen daher der POMS sowie die *Befindlichkeitsskalen* im Besonderen für die geplante Untersuchung geeignet.

### 3.3.4.3 Bisherige Studienergebnisse Befindlichkeit

Sportliche Tätigkeit kann die Befindlichkeit sowohl verbessern als auch verschlechtern. Epidemiologische Studien zeigen einen positiven Zusammenhang zwischen dem Umfang wöchentlicher sportlicher Aktivität und der Häufigkeit und Intensität von Gefühlszuständen, die als positiv und energiegeladen bezeichnet werden (O'Connor & Puetz, 2005; vgl. Anish, 2005; Peluso & de Andrade, 2005). So konnten Höltke, Steuer, Krakor und Jakob (2005) eine verbesserte Befindlichkeit bei 16 Freizeitsportlern während einer sechsmonatigen Vorbereitung auf einen Marathonlauf nachweisen. Ermittelt wurden die Parameter *Vitalität* und *psychisches Wohlbefinden* mithilfe des Gesundheitsfragebogens SF-36. Die Sportler verbesserten während dieser Zeit ihre Leistungsfähigkeit um 5 bis 10 %. O'Connor und Puetz (2005) schätzen mit Verweis auf vorliegende Studien, dass sportliches Training mit einem Umfang von 10 bis 20 Wochenstunden zu einer Verbesserung der körperlichen Befindlichkeit bei Patienten mit Müdigkeitssymptomen führt.

Zu hohe Belastungsumfänge und Belastungsintensitäten dagegen wirken sich negativ auf die Befindlichkeit von Sportlern aus (O'Connor & Puetz, 2005; Peluso & de Andrade, 2005). Schulz, Bühlmeier, Kleinert, Lötzerich, Peters und Michna (2004) konnten nachweisen, dass bereits einmalige maximale Belastungen zu negativen Beeinträchtigungen im psychischen Bereich führen können, die sich in vorliegender Studie jedoch im Verlauf von 24 Stunden wieder regenerierten. Peluso und de Andrade (2005) nennen mit Verweis auf weitere Untersuchungen eine Zeitangabe von zehn Tagen, nach denen hochintensives Training zu Befindlichkeitsverschlechterungen führe. In zahlreichen über einen Zeitraum von insgesamt zehn Jahren angelegten und an insgesamt 400 Schwimmerinnen und Schwimmern durchgeführten Untersuchungen wiesen Morgan et al. (1987) einen Zusammenhang zwischen dem Gesamtbelastungsumfang, dem Sportlerinnen und Sportler ausgesetzt waren, und deren Befindlichkeit nach. Die höchste Anzahl an Befindlichkeitsver-

schlechterungen – ermittelt anhand der Parameter des POMS – wiesen die Autoren im Anschluss an Phasen mit hoher Trainingsintensität und Trainingsdauer nach (vgl. Adams & Kirkby, 2001).

Auch Berglund und Säfström (1994) konnten in einer gut dreimonatigen Studie an 14 Weltklassekanuten eine verschlechterte Befindlichkeit anhand gesteigerter POMS-Werte während hoher und intensiver Trainingsphasen in der Vorbereitung auf die Olympischen Spiele nachweisen. Die Stimmung der Sportler normalisierte sich während einer an die intensive Belastungsphase anschließenden Taperingphase.

In weiteren Untersuchungen wurde der Zusammenhang zwischen Belastungsspitzen im Trainingsverlauf oder während Wettkämpfen und Befindlichkeitsverschlechterungen von Athleten bestätigt (vgl. Anglem, Lucas, Rose & Cotter, 2008; Bosquet et al., 2001; González-Boto et al., 2008; Goss, 1994; O'Connor et al., 1989; Peluso & de Andrade, 2005; Raglin, Morgan & O'Connor, 1991; Steinacker et al., 2000; Uusitalo et al., 1998; Verde et al., 1992), wobei anzumerken ist, dass häufig auch einzelne Parameterveränderungen verantwortlich für eine geringere Gesamtbefindlichkeit anzusehen sind (vgl. Anglem et al., 2008; Goss, 1994). Pierce (2002) beispielsweise konnte in einer sechsmonatigen Studie einen Zusammenhang zwischen dem Belastungsumfang von Schwimmern und einzelnen Kategorien des POMS nachweisen (*Wut*, *Vitalität*, *Müdigkeit*), nicht jedoch zwischen Belastungsumfang und den weiteren Parametern des POMS bzw. dem ermittelten Gesamtbefindlichkeitsindex.

Nur wenige Untersuchungen konnten keine Verschlechterung der Befindlichkeit von Sportlern während hoch intensiver Belastungsphasen nachweisen. Filaire, Legrand, Lac und Pequignot (2004) beispielsweise stellten bei zwölf Radsportlern über einen Zeitraum von acht Monaten keine Anpassungen der Befindlichkeit während unterschiedlich intensiver und umfangreicher Trainingsbelastungen fest. Auch ein viertägiges Trainingslager mit einem nahezu verdoppelten Belastungsumfang induzierte keine Veränderungen, allerdings beziehen sich die Autoren auf lediglich vier durchgeführte Messungen. Ähnliche Ergebnisse dokumentierten Rietjens et al. (2005), die keine Leistungsminderungen und Veränderungen der Befindlichkeit bei sieben Radsportlern während einer zweiwöchigen Intervention feststellen konnten, sowie Dupuy et al. (2010) und Slivka et al. (2010), die stabile Befindlichkeitswerte bei zehn Ausdauersportlern während einer umfangreichen Trainingsmaßnahme über zwei Wochen, bzw. bei acht Radsportlern während eines dreiwöchigen extrem umfangreichen Straßenrennens feststellten. Jedoch zeigten sich in der von Slivka et al. (ebenda) durchgeführten Studie verminderte Werte für den Parameter *Tatendrang* ab dem vierten Untersuchungstag.

Im Zusammenhang mit Leistungsminderungen und möglicherweise vorliegenden Überbelastungen bzw. Übertrainingssyndromen erscheint die Datenlage eindeutig.

Fry et al. (1994) konnten bereits nach fünf Tagen intensivierten Trainings eine deutliche Reduzierung der Befindlichkeit bei fünf Soldaten feststellen, die mit einer ca. 30%igen Verschlechterung der Leistungsfähigkeit am Ende der zehntägigen Intervention einherging. Die Autoren verwendeten eine gekürzte Version des POMS und dokumentierten eine Zunahme des Parameters *Müdigkeit* und eine Abnahme des Parameters *Tatendrang*. Veränderungen dieser beiden Parameter sorgten für einen signifikanten Anstieg des Summenwertes des POMS und zeigten somit eine Verschlechterung der Gesamtbefindlichkeit am Ende der Trainingsintervention an. Weiterhin berichteten die Teilnehmer von Konzentrations- und Schlafstörungen. Während der folgenden

Regenerationsphase normalisierte sich der Summenwert des POMS zwar wieder, die Müdigkeitswerte jedoch blieben bis zum Ende der fünftägigen Regenerationsphase signifikant erhöht. Die Befindlichkeitsveränderungen zeigten in der vorliegenden Studie einen identischen zeitlichen Verlauf zu Veränderungen der Immunsystemaktivität, woraufhin die Autoren schlussfolgern, dass physiologische Parameterveränderungen Veränderungen der Befindlichkeit herbeiführen könnten und psychologische Marker als nichtinvasive und kostengünstige Alternative im Zusammenhang mit Überbelastungen geeignete ergänzende Diagnoseparameter darstellten.

Auch Baumert et al. (2006), Bosquet et al. (2001), Coutts, Wallace et al. (2007), Halson et al. (2002), Jeukendrup et al. (1992) und Uusitalo et al. (1998) konnten Befindlichkeitsverschlechterungen in Kombination mit Leistungsminderungen nach zwei bis vier Wochen erhöhten Trainingsumfangs bei Ausdauersportlern dokumentieren, wobei Befindlichkeitsverschlechterungen während intensivierten und gesteigerten Trainings teilweise auch unabhängig von Leistungsminderungen auftraten (vgl. Uusitalo et al., 1998). Häufig kam es zu einer Erholung der Befindlichkeit im Verlauf nachfolgender Regenerationsphasen (vgl. Coutts, Wallace et al., 2007; Halson et al., 2002; Jeukendrup et al., 1992).

Schmikli et al. (2010), Hooper et al. (1995), O'Connor et al. (1989), Urhausen et al. (1998) sowie Vogel et al. (2001) konnten in langfristig angelegten Beobachtungsstudien Überbelastungen diagnostizieren, die allesamt mit Verschlechterungen der Befindlichkeit einhergingen.

Lemyre et al. (2007) wiesen einen Zusammenhang zwischen dem Auftreten von Symptomen eines Übertrainingssyndroms (ermittelt anhand eines Fragebogens bezüglich Schlafqualität, Appetit, Energie, Trainingslust, Trainingsqualität, Krankheiten und Verletzungen) und Merkmalen eines Burnouts bei 141 Wintersportlern im Verlauf einer Wettkampfsaison nach.

Kenttä et al. (2001) befragten 272 junge schwedische Nachwuchssportler zum Auftreten von Überbelastungen oder Übertrainingssyndromen und baten die Sportler, rückblickend ihre Befindlichkeit während dieser Phasen einzuschätzen. Gaben die Sportler an, schon einmal eine Überbelastung oder ein Übertrainingssyndrom erlebt zu haben, schätzten sie gleichzeitig ihre zu diesem Zeitpunkt wahrgenommene Befindlichkeit als signifikant schlechter ein als zu verschiedenen Zeitpunkten der aktuellen Wettkampfsaison.

Morgan et al. (1987) argumentieren recht allgemein, dass im Verlauf ihrer Untersuchungen 80 % derjenigen Sportler, die als überbelastet bezeichnet wurden, auch Anzeichen einer klinischen Depression zeigten, was vor allem für diejenigen Sportler zutreffen dürfte, die Anzeichen eines parasympathischen Übertrainingssyndroms zeigten (Armstrong & VanHeest, 2002). Die Abgrenzung vom Konzept des Übertrainingssyndroms erscheint hier jedoch problematisch (vgl. Armstrong & VanHeest, 2002; Ziemainz et al., 2004).

#### 3.3.4.4 Diskussion der Studienergebnisse zur Befindlichkeit

Es besteht ein allgemeiner Konsens darüber, dass die psychische Befindlichkeit eines Athleten beim Auftreten einer Überbelastung oder eines Übertrainingssyndroms beeinträchtigt ist (Adams & Kirkby, 2001; Birrer, 2004; Bottomley, 1989; Fry et al., 1991; Fry et al., 1994; Gleeson, 1998; Hollander et al., 1995; Hooper et al., 1995; Kayser & Gremion, 2004; Krause & Weiß, 2002; Lehmann, Foster et al., 1993; Meeusen et al., 2006; Morgan et al., 1987; Nederhof et al., 2008; O'Connor et al., 1989; Pierce, JR., 2002; Raglin & Barzdukas, 1999; Sims, 2001; Steinacker et al.,

2000; Teeple, Shalvoy & Feller, 2006; Urhausen & Kindermann, 2002b; Urhausen & Kindermann, 2002a, 2000; Uusitalo et al., 1998; Uusitalo, 2001; Vernacchia, 1997), wobei der auslösende Mechanismus für diese Beeinträchtigung nicht zwangsläufig physiologischer Natur sein muss (Bottomley, 1989).

Fraglich ist, ob eine Verschlechterung der Befindlichkeit eine ursächliche Wirkung bei der Genese einer Überbelastung ausüben kann oder als symptombezogene Begleiterscheinung interpretiert werden muss. Eine eingeschränkte Befindlichkeit kann als Folge einer systemischen Beeinträchtigung durch eine Über- oder Fehlbelastung mit oder ohne Leistungsminderung auftreten oder aber eine Überbelastung bzw. ein Übertrainingssyndrom zusammen mit weiteren (psychologischen und physiologischen) Faktoren zumindest anteilig ursächlich induzieren. So halten Kuhl und Schulz (1986) negative Emotionszustände für die relevanteste Ursache bezüglich der durch emotionale Belastungen verursachten Leistungsbeeinträchtigungen. Sie erklären die leistungsmindernde Wirkung negativer Emotionen anhand ihrer destabilisierenden Einflüsse auf die psychische Handlungsregulation. Eine Unterscheidung von Ursache und Wirkung bedarf also der genauen zeitlichen Einordnung von Befindlichkeitsveränderungen und Leistungsschwankungen im langfristigen Trainings- und Wettkampfverlauf.

Nach Meeusen et al. (2006) koinzidieren Befindlichkeitsverschlechterungen mit physiologischen Veränderungen im Zusammenhang mit Überbelastungen und Übertrainingssyndrom und gehen neuroendokrinen Veränderungen voraus (vgl. Adams & Kirkby, 2001; Hendrickson & Verde, 1994; Meeusen et al., 2007; Morgan et al., 1987). Meeusen et al. (2006) gehen weiter davon aus, dass die depressive Komponente der Befindlichkeit im Übertrainingssyndrom stärker ausgeprägt ist als während einer Überbelastung (vgl. Urhausen & Kindermann, 2000). Urhausen und Kindermann (ebenda) benennen explizit Schlafstörungen als spezifische Form einer Befindlichkeitsbeeinträchtigung, welche ein frühes Warnzeichen für ein Übertrainingssyndrom darstellen könnten (vgl. Achten & Jeukendrup, 2003; Falsetti et al., 1983; Kenttä & Hassmén, 1998; Meeusen et al., 2006; Pearce, 2002; Raglin & Barzdukas, 1999; Teeple et al., 2006; Urhausen & Kindermann, 2000). Die Autoren postulieren, dass Beeinträchtigungen der Befindlichkeit häufig vor einem endgültigen Leistungseinbruch eintreten (vgl. Hooper et al., 1995).

Da in Phasen hochintensiven Trainings die auffälligsten Stimmungstiefs registriert werden, sehen einige Autoren die Möglichkeit, durch die Dokumentation von Stimmungszuständen die Entstehung eines Übertrainingssyndroms anzeigen zu können (Meeusen et al., 2006; Morgan et al., 1987; Sims, 2001), Urhausen und Kindermann (2002a) bezeichnen Befindlichkeitsverschlechterungen und subjektive Beschwerden als empfindlichste Parameter bei der Diagnose von Überbelastungen. Hooper et al. (1995) empfehlen ein Monitoring von subjektiv eingeschätzter Schlafqualität, Müdigkeit, Stress und Muskelschmerzen als Möglichkeit, der Entstehung eines Übertrainingssyndroms präventiv vorzubeugen.

Auch Hendrickson und Verde (1994), die die Existenz allgemeingültiger Hinweise auf ein Übertrainingssyndrom generell bezweifeln, verweisen auf die Relevanz psychischer Befindlichkeit:

“Perhaps the most sensitive indicator is a person's mood or psychological status, and the general complaint of feeling bad may be apparent before physical signs of deterioration”  
(Hendrickson & Verde, 1994, S. 64).

Der Vorteil psychologischer Fragebögen liegt neben der unproblematischen und ortsunabhängigen Einsetzbarkeit in der schnellen Verfügbarkeit der Ergebnisse sowie in der hohen Sensitivität

psychologischer Parameter. Zudem erlauben sie eine „relativ stabile, zuverlässige (...) und ökonomische Erfassung von Anzeichen eines Übertrainingszustandes“ (Kellmann, 2000, S. 253).

Probleme beim Einsatz von Befindlichkeitsfragebögen treten dahin gehend auf, dass einzelne Parameterveränderungen (wie z. B. des Parameters Müdigkeit beim POMS) für die Veränderung eines Summenwertes verantwortlich sein können und damit beispielsweise körperliche Müdigkeit eine Beeinträchtigung der psychischen Gesamtbefindlichkeit anzeigt, die in Wahrheit nicht gegeben ist.

Andererseits ist denkbar, dass alternative Erklärungen, wie z. B. ausbleibender Erfolg bei wichtigen Wettkämpfen, zu motivationalen Problemen, Niedergeschlagenheit und Verstimmung führen, ohne dass tatsächlich eine Überbelastung vorliegt oder ein Zusammenhang mit physiologischen Veränderungen besteht (vgl. Meeusen et al., 2006). Eine Abfrage kritischer Ereignisse auch außerhalb des sportlichen Kontextes sollte bei der Ermittlung der Daten daher berücksichtigt werden.

Voraussetzung für eine zuverlässige Bewertung der mittels Befindlichkeitsfragebögen gewonnenen Ergebnisse ist der regelmäßige, ambulatorische, unmittelbare und vor allem engmaschige Einsatz über einen ausreichend langen Zeitraum. Kritisch anzumerken bleibt, dass bei einigen Studien die Art der Datenermittlung diesen Voraussetzungen nicht gerecht wurde. So gilt es gemeinhin als unmöglich, das allgemeine Befinden retrospektiv für die vorangegangenen zwei Wochen oder einen länger zurückliegenden Zeitraum ohne fehlerhafte Verzerrungen einzuschätzen. Dennoch findet sich diese Form der Befragung unter anderem bei Kenttä et al. (2001) sowie Uusitalo et al. (1998).

Auch wenn vieles dafür spricht, dass Befindlichkeitsverschlechterungen das Resultat einer Überlastung bzw. Fehlbelastung sein können, bleibt die Frage, ob zeitgleich eine verminderte Leistungsfähigkeit diagnostiziert werden kann und ob diese möglicherweise auch Auslöser einer Verschlechterung der Befindlichkeit sein könnte, von entscheidender Relevanz (vgl. Goss, 1994). Ein möglichst zeitgleiches und engmaschiges Monitoring von Leistungs- und Befindlichkeitskomponenten wäre also wünschenswert, um eine zeitliche Einordnung der Veränderungen vornehmen zu können.

Auch bei der Befindlichkeit ergibt sich aufgrund individueller Ausprägungen und Unterschiede die Notwendigkeit, die ermittelten Werte mit sogenannten Normwerten zu vergleichen und auf standardisierte Bedingungen (gleiche Tageszeit und vor Wettkampf) zu achten (vgl. Goss, 1994; Hollander et al., 1995). Die Annahme von Berglund und Säfström (1994), dass eine 50%ige Erhöhung der POMS-Werte diagnostisch verwertbar für eine Differenzierung zwischen exzessivem Training und einer Überbelastung sein könnte, bedarf einer Überprüfung auf individueller Ebene.

### 3.3.5 Weitere Symptome

Auch für die Beteiligung hormoneller Einflüsse sowie weiterer blutchemischer Veränderungen bei der Genese von Überbelastungen gibt es Hinweise (vgl. Angeli et al., 2004; Armstrong & VanHeest, 2002; Fry et al., 1991; Lehmann et al., cop. 1998). Einige Autoren argumentieren, dass Veränderungen von Hormonkonzentrationen in Blut oder Urin diagnoseweisend für eine Überbelastung oder ein Übertrainingssyndrom sein könnten (vgl. Angeli et al., 2004; Fry et al., 1991; Karvonen, 1992; Krause & Weiß, 2002; Kuipers & Keizer, 1988; Lehmann et al., 1991;



Lehmann, Foster et al., 1993; Meeusen, 1999; Moore & Fry, 2007; O'Connor et al., 1989; Steinacker et al., 2000). Vor allem Veränderungen der Katecholamine werden in Verbindung mit Überbelastungen diskutiert (Lehmann et al., 1991; Lehmann, Schnee et al., 1992; Lehmann, Foster et al., 1993; Lehmann et al., cop. 1998; Uusitalo et al., 1998). Lehmann, Foster et al. (1993) bewerten eine 40 bis 70%ige Reduktion der nächtlichen basalen Katecholaminausscheidung als Indikator einer eingeschränkten sympathischen Aktivität und gehen von einem Zusammenhang mit dem Auftreten eines (parasymphischen) Übertrainingssyndroms aus (vgl. Lehmann et al., 1991). Uusitalo et al. (1998) konnten diese Ergebnisse in eigenen Untersuchungen nicht bestätigen. Es wird vermutet, dass sich die genannten hormonellen Veränderungen erst sehr spät einstellen und daher als Indikatoren für die Prävention einer Überbelastung möglicherweise ungeeignet sind (Lehmann et al., cop. 1998).

Bisherige Studienergebnisse in Bezug auf hormonelle Anpassungen sind weit davon entfernt, eindeutige Tendenzen zu zeigen. So konnte eine Reihe von Studien anhand ein- bis sechswöchiger Trainingsinterventionen bzw. langfristig angelegter Beobachtungsdesigns (Schmikli et al., 2010; Urhausen, Gabriel & Kindermann, 1998) sowie eine Untersuchung mittels einmaliger Extrembelastungen (Kraemer, Fragala, Watson, Volek, Rubin, French, Maresh, Vingren, Hatfield, Spiering, Yu-Ho, Hughes, Case, Stuempfle, Lehmann, Bailey & Evans, 2008), unabhängig vom Auftreten von Leistungsminderungen Veränderungen einzelner oder mehrerer Hormone wie ACTH (adrenocorticotrophic hormone), Cortisol, Adrenalin, Noradrenalin und Testosteron bei Ausdauersportlern bzw. semiprofessionellen Rugbyspielern nachweisen (vgl. Coutts, Reaburn et al., 2007; Hedelin, Kenttä et al., 2000; Karvonen, 1992; Kraemer et al., 2008; Lehmann, Baumgartl et al., 1992; Lehmann, Gastmann, Baur, Yufei, Lormes, Opitz-Gress, Reißnecker, Simsch & Steinacker, 1999; Lehmann et al., cop. 1998; Snyder et al., 1995; Urhausen et al., 1998). Bei einer ebenso großen Anzahl von Untersuchungen blieben signifikante Veränderungen einzelner hormoneller Parameter bei Ausdauersportlern unterschiedlicher Disziplinen während zehn Tage bis neun Wochen andauernden Phasen hochintensiver bzw. umfangreicher Belastungen bzw. während langfristiger Beobachtungsphasen unabhängig vom Auftreten von Leistungsminderungen jedoch aus (Coutts, Wallace et al., 2007; Fry et al., 1991; Halson et al., 2002; Hedelin, Kenttä et al., 2000; Hooper et al., 1995; Iellamo et al., 2002; Rietjens et al., 2005; Slivka et al., 2010; Steinacker et al., 2000; Urhausen et al., 1998; Uusitalo et al., 1998; Verde et al., 1992). Urhausen et al. (1998) konnten Veränderungen einzelner Hormone (ACTH) lediglich nach maximaler Ausbelastung bei überbelasteten Ausdauersportlern nachweisen (s. o), nicht jedoch im Ruhezustand. Auch Hynynen et al. (2006) konnten keine Unterschiede in Bezug auf Stresshormone zwischen einer Gruppe von Sportlern mit diagnostiziertem Übertrainingssyndrom und einer Kontrollgruppe nachweisen.

Meeusen et al. (2006) erklären die uneindeutigen und häufig widersprüchlichen Ergebnisse unter anderem mit den vielfältigen Faktoren, die die Hormonkonzentrationen im Blut beeinflussen können, wie z. B. Stressfaktoren außerhalb sportlichen Trainings, Ernährung und Jahreszeit, sowie mit den unterschiedlichen Messmethoden, die zur Bestimmung der Hormonkonzentrationen verwendet werden (vgl. Halson & Jeukendrup, 2004; Meeusen et al., 2008). Diese sind zudem invasiv, zeitaufwendig und teuer, sodass ein Einsatz in der Trainingspraxis und Prävention oder Diagnose eines Übertrainingssyndroms nur in entsprechend spezialisierten Zentren und unter Berücksichtigung standardisierter Rahmenbedingungen denkbar ist. Anpassungen hormoneller Parameter scheinen zudem interindividuell beträchtlich zu variieren (Uusitalo et al., 1998).

Der Einsatz geeigneter Bestimmungsverfahren für die genannten Hormone ist daher während mehrwöchiger Trainings-, Wettkampf- und Regenerationsphasen schwierig durchführbar (vgl. Hartmann & Mester, 2000; Kuipers & Keizer, 1988; Urhausen & Kindermann, 2000, 2002a) und aufgrund bisher vorliegender Ergebnisse fragwürdig. Gleiches gilt für die Bestimmung weiterer Hormone wie Leptin und Inhibin, immunologischer Parameter von Aminosäuren (BCAA) – Halson und Jeukendrup (2004) gehen davon aus, dass immunologische Parameter aufgrund intensivierten Trainings Veränderungen aufzeigen, unabhängig davon, ob es zu Überbelastungen kommt oder nicht, Studien von MacKinnon und Hooper (1996) konnten einen Zusammenhang zwischen Infekten der oberen Atemwege und dem Auftreten von Überbelastungen bei Schwimmern nicht nachweisen – sowie von Peptiden und Enzymen, die in der sportwissenschaftlichen Literatur im Hinblick auf ihren diagnostischen Nutzen diskutiert werden (siehe dazu: Gastmann & Lehmann, 1998; Gleeson, 2006; Kingsbury, Kay & Hjelm, 1998; Lakier Smith, 2003; Lehmann, Petersen, Liu, Gastmann, Lormes & Steinacker, 2000; Main, Dawson, Grove, Landers & Goodman, 2009; Main et al., 2010; Margonis, Fatouros, Jamurtas, Nikolaidis, Douroudos, Chatzinikolaou, Mitrakou, Mastorakos, Papassotiriou, Taxildaris & Kouretas, 2007; Petibois, Cazorla, Poortmans & Déléris, 2002; Shephard & Shek, 1998; Smith, 2000). Sie spielen daher bei der Auswahl geeigneter Diagnoseparameter für diese Studie keine Rolle.

### **3.4 Diskussion des aktuellen Forschungsstands**

Experimentelle Studien zum Thema Übertraining haben zumeist das Ziel, mittels Trainingsinterventionen in Form enormer Umfangs- bzw. Intensitätssteigerungen eine Überbelastung oder ein Übertrainingssyndrom bei den Teilnehmern zu induzieren. Quasiexperimentelle Ansätze machen sich dabei reale Trainings- oder Wettkampfphasen mit hohen Belastungsanforderungen zunutze, während Beobachtungsstudien Sportler über längere Trainings- und Wettkampfphasen begleiten und auf eine Einflussnahme auf wirkende Stressoren verzichten.

Beide Ansätze, experimentell wie Beobachtung, bleiben aus mehreren Gründen diskussionswürdig. Rowbottom et al. (cop. 1998) stellen den Nutzen kurzfristiger Interventionen infrage, indem sie die Übertragbarkeit der Ergebnisse in reale Trainings- und Wettkampfsituationen bezweifeln. Beispielsweise könnten dort subtilere Veränderungen auftreten, die sich schleichend bemerkbar machen und dementsprechend schwerer zu diagnostizieren sind (vgl. Vogel, 2001). Ähnlich argumentieren Urhausen und Kindermann (2000), die neben einer häufig zu kurzen Beobachtungsdauer die geringe Anzahl untersuchter Spitzensportler sowie die fehlende Berücksichtigung der an die Interventionen anschließenden Regenerationsphasen kritisieren. Auch Vogel (2001, S. 160) bezweifelt die Übertragbarkeit der Daten nur mäßig trainierter Sportler auf Spitzenathleten und favorisiert eine längerfristige Beobachtung von Teilnehmern, die „zu Gunsten der Durchführbarkeit und klinischen Relevanz einen Verlust an standardisierten Bedingungen hinnehmen“ müsse.

Bei länger andauernden Interventionen, die massive Intensitäts- bzw. Umfangssteigerungen beinhalten, stellt sich zudem die Frage der ethischen Bedenklichkeit. Je länger ein solcher Eingriff erfolgt, desto weniger sind gesundheitliche Konsequenzen und Schädigungen für die Teilnehmer auszuschließen. Dies sollte gerade für die häufig verwendeten nur mäßig trainierten Teilnehmer zutreffen. Ein weiteres Problem beim experimentellen Ansatz stellt die Unterstützung der Sportler

dar, die sich einer Überlastung mit nicht absehbaren Konsequenzen für die eigene Gesundheit und persönliche sportliche Ziele aussetzen. Ein Vorhaben, über Interventionen gezielt ein Übertrainingssyndrom hervorzurufen, erscheint somit ethisch fragwürdig und wenig vielversprechend (vgl. Armstrong & VanHeest, 2002; Meeusen et al., 2006; Vogel, 2001).

Im Gegensatz zu experimentellen Studien leiden nichtexperimentelle Beobachtungsstudien häufig darunter, dass Sportler mehr als nur ein Warnsignal überhören müssen, um während einer Trainingsphase tatsächlich eine Überbelastung oder gar ein Übertrainingssyndrom auszubilden. Ohne eine externe Steuerung der Belastungsfaktoren erscheint es unwahrscheinlich, dass Athleten auf mehrtägige Ermüdungserscheinungen nicht mit einer Anpassung ihres Trainingspensums reagieren, um eine ausreichende Erholung zu gewährleisten. Bei den vorliegenden Studien wurden daher zumeist lediglich physiologische, blutchemische und psychologische Parameterveränderungen während unterschiedlich intensiver Trainings- oder Wettkampfphasen dokumentiert.

Nur eine regelmäßige und häufige sportartspezifische Leistungsbestimmung, die bei langfristigen Beobachtungsstudien nicht gegeben ist, könnte zudem Leistungsminderungen und deren zeitlichen Verlauf so darstellen, dass eine Interpretation der Trainingsdaten und die Beurteilung weiterer die sportliche Leistung beeinflussender Faktoren möglich sind.

Beiden Ansätzen (experimentell/Beobachtung) eigen ist das Problem, dass ohne eine eindeutig diagnostizierte sportartspezifische Leistungsminderung und eine Abschätzung deren Dauer eine begriffliche Unterscheidung zwischen Ermüdung, Überbelastung sowie einem Übertrainingssyndrom nicht zu leisten ist. Mehrmalige leistungsdiagnostische Messungen während normaler Trainings- und an Interventionen anschließenden Regenerationsphasen sind daher notwendig, um zum einen vergleichbare Normwerte zur Hand zu haben und zum anderen Leistungsverläufe und die Dauer von Leistungsminderungen eindeutiger beurteilen zu können. Ausreichend aussagekräftige Angaben über Leistungsparameter fehlen jedoch in bisherigen Studien häufig (vgl. Halson & Jeukendrup, 2004) – teilweise aufgrund eines kompletten Verzichts auf Leistungstests (vgl. Karvonen, 1992; Portier et al., 2001; Winsley et al., 2005), teilweise – vor allem bei langfristig angelegten Beobachtungsstudien – aufgrund zu selten durchgeführter Tests oder – bei experimentellen Studien – aufgrund fehlender Messungen während der Regenerationsphasen, sodass eine Einschätzung der Dauer von Leistungsminderungen nicht möglich ist (vgl. Costill et al., 1988; Dressendorfer et al., 1985; Garcin et al., 2002; Hedelin, Kenttä et al., 2000; Hooper et al., 1995; Krause & Weiß, 2002; O'Connor et al., 1989; Urhausen et al., 1998; Uusitalo et al., 1998; Vogel et al., 2001).

Uusitalo et al. (1998) beispielsweise verzichteten in ihrer Studie nicht nur darauf, den Verlauf der untersuchten Parameter über eine an die Intervention anschließende Regenerationsphase darzulegen, sondern orientierten sich in der über bis zu 15 Wochen angelegten Studie an lediglich vier Messzeitpunkten. Dies erscheint zu wenig, um Parameterverläufe darstellen und beurteilen zu können.

Beim Studium der vorliegenden Untersuchungen im Bereich des Übertrainings ist auffällig, dass der häufig vorgenommene Versuch, Leistungsminderungen bei Sportlern herbeizuführen und zu dokumentieren, um diese dann mit auftretenden physiologischen oder psychologischen Parameterveränderungen in Zusammenhang zu bringen, auch bei längerfristigen Interventionen öfter als

angenommen fehlschlug (vgl. Billat et al., 1999; Costill et al., 1988; Garcin et al., 2002; Lehmann et al., 1991; Lehmann, Baumgartl et al., 1992; Lehmann, Gastmann et al., 1992; Lehmann, Schnee et al., 1992; Lehmann, Knizia et al., 1993; Moore & Fry, 2007; Rietjens et al., 2005; Snyder et al., 1995; Steinacker et al., 2000; Verde et al., 1992). Veränderungen der gemessenen Parameter traten häufig dennoch auf, sodass diese dann als normale Begleiterscheinungen intensiven oder umfangreichen Trainings gewertet werden müssen (vgl. Costill et al., 1988; Lehmann et al., 1991; Lehmann, Baumgartl et al., 1992; Lehmann, Gastmann et al., 1992; Lehmann, Schnee et al., 1992; Lehmann, Knizia et al., 1993; Snyder et al., 1995; Steinacker et al., 2000; Verde et al., 1992) und von solchen Veränderungen abzugrenzen sind, die mit Überbelastungen einhergehen.

Andererseits fielen Anpassungen vor allem physiologischer Parameter auch trotz auftretender Leistungsminderungen in einigen Untersuchungen gering aus (Coutts, Slattery et al., 2007; Coutts, Wallace et al., 2007; Hooper et al., 1995; Uusitalo et al., 1998). In einzelnen Fällen ist es nicht auszuschließen, dass möglicherweise auch Leistungsstagnationen, vor allem wenn sie im Anschluss an eine Intervention lange andauern (vgl. Lehmann et al., 1991) oder wenn es sich um hochtrainierte Sportler handelt und die Intervention an eine Trainingsphase mit geringem Umfang anschloss (vgl. Garcin et al., 2002), eine Überbelastung anzeigen können. Auch verspätet auftretende Leistungsminderungen, etwa nach einer an eine Intervention anschließenden Regenerationsphase, könnten ein Hinweis für eine Überbelastung sein, wenn Detrainingeffekte ausgeschlossen werden können. In der von Lehmann, Knizia et al. (1993) an mäßig trainierten Freizeitsportlern durchgeführten Studie erscheint es jedoch zweifelhaft, ob die wenig umfangreiche Trainingsintervention, die letztendlich zu Leistungssteigerungen führte, für die im Anschluss an die folgende zweiwöchige Ruhephase diagnostizierte Leistungsminderung der Sportler verantwortlich sein kann. Vielmehr ist in diesem Fall das Wirken von Detrainingeffekten denkbar.

Häufig ist der Fall auftretender Leistungsminderungen nach einer Interventionsphase mit verzögerten positiven Anpassungserscheinungen nach einer anschließenden Regenerationsphase (vgl. Coutts, Reaburn et al., 2007; Coutts, Wallace et al., 2007; Halson et al., 2003; Jeukendrup et al., 1992; Steinacker et al., 2000). In diesem Zusammenhang ist zumeist von Überbelastungen die Rede, jedoch fehlen, wie bereits erwähnt, oftmals genaue zeitliche Angaben über die Dauer der Leistungsminderungen, sodass nicht auszuschließen ist, dass es sich in Wahrheit um als normal zu bezeichnende Ermüdungserscheinungen handelte, die nachfolgenden positiven Leistungsanpassungen vorausgingen.

Nur sehr selten wird von Leistungsminderungen berichtet, die auch eine nachfolgende Regenerationsphase überdauern (Bosquet et al., 2001; Fry et al., 1994). Zumeist erfolgt zumindest eine Anpassung an das Niveau der Eingangstests. Hilfreich ist eine systematische Planung des Trainings während der Regenerationsphasen, wie sie Coutts, Reaburn et al. (2007) und Coutts, Wallace et al. (2007) verwenden, häufig fehlen Angaben über Trainingsinhalte im Anschluss an Trainingsinterventionen jedoch vollständig.

Um überhaupt Leistungsminderungen induzieren zu können, scheint ein gleichmäßig und konstant hoher Belastungsumfang, Lehmann et al. (cop. 1998) sprechen von einer Trainingsmonotonie, notwendig. Die von Garcin et al. (2002) durchgeführte Studie lässt vermuten, dass ein intensiviertes Training nicht ausreichend ist, bei hoch trainierten Sportlern Leistungsminderungen zu induzieren, wenn dieses nur fünf Mal pro Woche durchgeführt wird. Auch Lehmann, Knizia et al. (1993) konnten keine Leistungsminderungen bei mäßig trainierten Freizeitsportlern durch sechs

Mal wöchentlich durchgeführte Trainingsinterventionen induzieren, was jedoch möglicherweise auch mit der relativ kurzen Belastungsdauer (ca. 30–35 Minuten) in Zusammenhang stehen könnte.

Problematisch erscheint weiterhin, dass sich die von einigen Autoren vorgenommenen diagnostischen Einschätzungen an teilweise fragwürdigen oder erst rückwirkend definierten Kriterien orientieren, die im Vorfeld nicht eindeutig oder gar nicht festgelegt wurden und daher nicht nachvollziehbar sind. So gehen Rietjens et al. (2005) aufgrund eines bei Ausbelastungstests erhöhten Anstrengungsempfindens der untersuchten Sportler nach einer zweiwöchigen Intervention von vorliegenden Überbelastungen aus. Weder können in diesem Fall diagnostisch verwertbare Parameterveränderungen eine solche Einschätzung stützen noch wurde das genannte Kriterium a priori definiert. Garcin et al. (2002) diskutieren das Vorliegen von Überbelastungen bei aufgetretenen Leistungsstagnationen und orientieren sich als Anhaltspunkt ebenso ausschließlich an einem erhöhten Anstrengungsempfinden. Untersuchungen von Lehmann, Baumgartl et al. (1992) und Lehmann, Gastmann et al. (1992) gehen von vorliegenden Übertrainingssyndromen aus, legen jedoch keinerlei Diagnoseparameter dar, auf die sich diese Vermutungen stützen ließen. Lehmann, Knizia et al. (1993) interpretieren die in ihrer Untersuchung dokumentierten physiologischen Veränderungen der Sportler als Merkmale sich anbahnender Übertrainingssyndrome, obwohl es im Anschluss an die Intervention zu Leistungssteigerungen bei den Teilnehmern kam (vgl. Lehmann et al., cop. 1998). Bosquet et al. (2001) diagnostizierten bei sieben von zehn untersuchten Sportlern ein Übertrainingssyndrom und bei den drei weiteren Teilnehmern eine Überbelastung, obwohl insgesamt nur vier Sportler Leistungsminderungen nach der Intervention und der folgenden zweiwöchigen Regenerationsphase zeigten. Eindeutige Leistungsminderungen traten nur bei denjenigen vier Sportlern auf, bei denen ein timetrial-Test eingesetzt wurde, wobei lediglich die Leistungsminderung beim dritten Test signifikant ausfiel (minus 25 %).

Ausgehend von den Ergebnissen bisher vorliegender Studien, die vornehmlich experimentelle Interventionen nutzten und eine Vielzahl an physiologischen, blutchemischen, immunologischen sowie psychologischen Parametern untersuchten, wurde für das gewählte Studiendesign aus ethischen und motivationalen Gründen ein experimenteller Ansatz ausgeschlossen, aufgrund wenig Erfolg versprechender Aussichten im Hinblick auf auftretende Überbelastungen schied ebenso eine langfristig angelegte Beobachtungsstudie aus. Stattdessen wurde ein innovativer und individueller Ansatz entwickelt, der das Ziel hatte, mittels einer Feldstudie realistische Trainings- und möglichst umfangreiche, monotone und lang andauernde Wettkampfphasen von Sportlern zu nutzen. Da die Übertragbarkeit der Ergebnisse von Übertrainingsstudien aufgrund sportartspezifischer und individueller Aspekte nicht gegeben scheint, erfolgte eine einzelfallbezogene Analyse der Daten.

Bisher zeigte sich im Hinblick auf die Prävention von Überbelastungen oder Übertrainingsyndromen kein isolierter Parameter als hinreichend diagnostisch verwertbar. Es bestand somit für die vorliegende Untersuchung die Aufgabe, eine für eine Feldstudie geeignete Kombination möglichst zuverlässiger und aussagekräftiger Parameter auszuwählen, die autonom und zentral modulierte Anpassungen möglichst frühzeitig anzeigen. Unabhängig davon, dass solche Verän-

derungen auch Merkmale moderaten sportlichen Trainings oder normaler Ermüdung sein könnten (Dickhuth, 2000; Hedelin et al., 2000; König et al., 2003; Lehmann et al., 1998), stützt man sich auf die Annahme, dass Funktionsstörungen des Vegetativums in vielen Fällen den biologischen Ausgangspunkt für Erscheinungsformen des Übertrainings darstellen (Meeusen, 1999; Rietjens et al., 2005; Steinacker et al., 2000).

Die ausgewählten Parameter sollten notwendigerweise nichtinvasiv, zeiteffizient und möglichst engmaschig anwendbar sein sowie im langfristigen Trainingsprozess und während mehrphasiger Beobachtungszeiträume dokumentiert werden können. Anhand aufgeführter Kriterien erfolgte die Auswahl der Parameter Ruheherzfrequenz, Herzfrequenzvariabilität und Befindlichkeit. Ergänzt wurden diese durch sportartspezifische Laktat-Leistungstests sowie die Dokumentation der Lauflistung während der Wettkampfphase.

In der geplanten und durchgeführten dreiphasigen Feldstudie wurden die untersuchten Parameter während einer normalen Trainingsphase, einer Wettkampfphase sowie einer anschließenden Regenerationsphase untersucht. Die Berücksichtigung normaler Trainings- und Regenerationsphasen sollte das Erstellen eines Normprofils sowie die Einschätzung der Dauer auftretender Leistungsminderungen ermöglichen.

Für die Durchführung der Studie konnten Extremsportler im Ausdauerbereich gewonnen werden, die sich einer 17-tägigen Wettkampfbelastung (Ultramarathon/Deutschlandlauf 2008) aussetzten. Dieser Ansatz dürfte aufgrund der hohen Motivation der Teilnehmer als besonders interessant und vielversprechend angesehen werden. Die Nutzung von Wettkampfphasen mit extrem hohen Umfängen, wie sie im Bereich des Extremsports vorzufinden sind, erschließt Belastungssituationen, deren Planung und Durchführung mittels experimenteller Designs aus ethischen Gründen abzulehnen wäre.

## 4 Material und Methoden

### 4.1 Ziel des Forschungsprojekts

Ziel der durchgeführten Feldstudie konnte es im Hinblick auf die beschriebene und komplexe Übertrainingsproblematik sowie aufgrund der geringen Teilnehmeranzahl der Untersuchung ( $n = 6$ ) nicht sein, eine hinreichende Antwort auf die Frage nach allgemeingültigen Erkennungsmerkmalen und Diagnoseparametern für eine Überbelastung oder gar ein Übertrainingssyndrom zu liefern. Ebenso wenig konnte es Anspruch dieser Arbeit sein, anhand von sechs Einzelfallbetrachtungen theoretische Modelle zur Entstehung einer Überbelastung bzw. eines Übertrainingssyndroms zu validieren bzw. diejenigen auslösenden zentral autonomen und physiologischen Mechanismen zu erklären, die einer Überbelastung oder einem Übertrainingssyndrom vorausgehen könnten.

Aufgrund der in Kapitel 3.4 dargelegten Problematik wurden ein experimenteller Studienansatz und eine langfristig angelegte Beobachtungsstudie als mögliche methodische Vorgehensweisen für ein Forschungsvorhaben zum Phänomen des Übertrainings ausgeschlossen. Stattdessen sollten mithilfe einer innovativen und individuell ausgerichteten Feldstudie Ausdauersportler untersucht werden, die an einem 17-tägigen Ultralangstreckenlauf (Deutschlandlauf 2008) teilnahmen.

Ausgangspunkt für das vorliegende Studiendesign stellte das in Kapitel 3 beschriebene Meta-modell dar, welches postuliert, dass auf zentrale Steuerungsmechanismen wirkende Stressoren – in diesem Fall die Belastungsanforderungen des ausgewählten Wettkampfes – symptomatische Veränderungen in unterschiedlichen systemischen Bereichen und in Abhängigkeit des Leistungszustands der Sportler bewirken. Demnach wurde davon ausgegangen, dass die ausgewählten Läufer während einer extrem umfangreichen mehrwöchigen Wettkampfphase individualtypische Anpassungsreaktionen zeigen, die ab einem gewissen Grad und einer gewissen Dauer eine Überbelastung anzeigen könnten.

Um Abweichungen von den Normwerten der Sportler bestimmbar machen zu können, erfolgte a priori die Festlegung entsprechender kritischer Ereignisse als potenzielle Diagnoseparameter einer Überbelastung. Dieses Vorgehen ist aufgrund einer fehlenden einheitlichen Operationalisierung in der Übertrainingsdiagnostik zwar letztendlich immer willkürlich und damit frag- und diskussionswürdig, aber dennoch für eine spätere begriffliche Einordnung und Interpretation der Leistungsparameter und Diskussion der Ergebnisse unumgänglich.

Das gewählte Studiendesign verfolgte primär zwei Ziele:

- Die Dokumentation äußerer Belastungsanforderungen (unabhängige Variablen Belastungsumfang und Belastungsindex) und Veränderungen ausgewählter Übertrainingsparameter (abhängige Variablen Ruheherzfrequenz, Herzfrequenzvariabilität, Befindlichkeit) vor dem Hintergrund der individuellen Leistungsentwicklung bei sechs Ultralangstreckenläufern und Diskussion möglicher Zusammenhänge.
- Die Erprobung eines individuellen Ansatzes zur möglichst frühzeitigen Erkennung einer Überbelastung mittels einer Kombination ausgewählter physiologischer und psychologischer Parameter sowie vordefinierter Normwertbereiche und kritischer Ereignisse.

Zu diesem Zweck wurden die Parameter Ruheherzfrequenz, Herzfrequenzvariabilität und Befindlichkeit bei sechs Ultramarathonläufern während unterschiedlicher Belastungsphasen erfasst und dokumentiert:

- während einer zwei- bis dreiwöchigen Trainingsphase mit einem für die Sportler normal-typischen Belastungsumfang
- während eines 17-tägigen Ultramarathons
- während einer sich an den Ultramarathon anschließenden zwei- bis dreiwöchigen Regenerationsphase

Soll ein Verlaufssparameter für die Früherkennung einer Überbelastung oder eines Übertrainingsyndroms geeignet sein, muss er häufig und selbständig ermittelt werden können (vgl. Jugde & Potteiger, 2000). Aus Gründen der Testgenauigkeit und Unterstützung durch die Teilnehmer wurden Verfahren ausgewählt, die den Sportlern vertraut waren und individuell sowie engmaschig angewendet werden konnten. Ein Verlust an standardisierten Bedingungen musste somit bis zu einem gewissen Grad in Kauf genommen werden (vgl. Vogel, 2001).

Der innovative Charakter dieser Studie liegt vor allem im extrem hohen Belastungsumfang und der Gesamtdauer der Wettkampfphase begründet, die aufgrund der täglichen Läufe ein hohes Maß an Belastungsmonotonie aufwies, welche nach Foster (1998) sowie Stone, Keith, Kearney, Fleck, Wilson und Triplett (1991) ein auslösender Faktor bei der Entstehung eines Übertrainingssyndroms sein kann. Belastungsanforderungen in dieser Form sind nur im Bereich des Extremsports anzutreffen.

Die Auswahl der Diagnoseparameter orientierte sich weitestgehend an bisherigen Studien, neu ist die Erprobung der Herzfrequenzvariabilität im Zusammenhang mit länger als zwei Wochen andauernden Belastungsphasen, welche auch Leistungsminderungen erwarten lassen.

## **4.2 Teilnehmer/Untersuchungspersonen**

Für Untersuchungen zum Themengebiet des Übertrainings eignen sich homogene Probandengruppen, da diese aufgrund identischen Trainingshintergrunds keine Prädisposition bezüglich unterschiedlicher Formen eines Übertrainingssyndroms aufweisen (Uusitalo et al., 1998). An der Studie nahmen sechs männliche Ausdauersportler teil. Diese waren zum Untersuchungszeitpunkt zwischen 31 und 52 Jahre alt, trainierten wöchentlich zwischen 6 und 20 Stunden, liefen in dieser Zeit zwischen 50 und 180 Kilometern, trainierten seit zwei bis 26 Jahren im Ausdauerbereich und arbeiteten neben dem regulären Training zwischen 38 und 60 Stunden in ihren Berufen. Alle Teilnehmer waren zum Untersuchungszeitpunkt gesund und nahmen keine Medikamente ein.

Tabelle 10 zeigt die anthropometrischen Daten der Teilnehmer.



Tab. 10: Anthropometrische Daten der Teilnehmer.

Teilnehmer	Alter	Gewicht	Größe	Trainingsumfang pro Woche	Trainingsjahre	Wöchentl. Arbeitszeit
TN1	47	67 kg	1,74 m	15 Std. gesamt 138 km Lauftraining	8	60 Std.
TN2	45	70 kg	1,80 m	12 Std. gesamt 85 km Lauftraining	26	50 Std.
TN3	52	96 kg	1,97 m	6 Std. gesamt 50 km Lauftraining	17	40 Std.
TN4	31	65 kg	1,79 m	18 Std. gesamt 180 km Lauftraining	8	38 Std.
TN5	47	71 kg	1,71 m	8 Std. gesamt 80 km Lauftraining	6	40 Std.
TN6	43	82 kg	1,80 m	10–20 Std. gesamt 100–150 km Lauftraining	2	40 Std.

### 4.3 Der Deutschlandlauf

Der Deutschlandlauf fand vom 08.09.2008 bis zum 24.09.2008 statt. Die Läufer starteten in Rügen und beendeten den Lauf im erfolgreichsten Fall in Lörrach nach 17 Tagesetappen ohne Ruhetag. Die Sportler übernachteten in Turnhallen und wurden an Versorgungsstationen auf der Strecke sowie morgens und abends in den Turnhallen verköstigt. Für die Behandlung der auftretenden Blessuren standen eine Heilpraktikerin, eine Massagetherapeutin sowie ein Rettungssanitäter zur Verfügung.

Die Tagesetappen variierten in der Distanz zwischen 51,7 km und 92,4 km, die durchschnittliche Etappenlänge betrug 70,9 km. Es nahmen 28 Teilnehmer (26 Männer, 2 Frauen) am Deutschlandlauf teil, von denen 19 (68 %) das Ziel in Lörrach erreichten (17 Männer, 2 Frauen).

### 4.4 Untersuchungsdurchführung

Im Verlauf der Studie wurden für jeden Trainings- und Wettkampftag die Art der Belastung, der Belastungsumfang und das Anstrengungsempfinden der Sportler ermittelt. Weiterhin erfolgte täglich die Bestimmung der Ruheherzfrequenz und Herzfrequenzvariabilität morgens nach dem Aufstehen sowie der Befindlichkeit während oder nach dem Frühstück. Die Parameter wurden während drei unterschiedlicher Belastungsphasen gemessen. Für jede Untersuchungsphase wurde die maximale Leistungskapazität der Sportler mittels stufenförmiger Ausbelastungstests auf dem Laufband bestimmt.

Einen Überblick über eingesetzte Messinstrumente und ermittelte Parameter bietet Tabelle 11.

Tab. 11: Verwendete Messinstrumente, Messparameter und Häufigkeit der Messungen.

	<b>Leistungsparameter</b>	<b>Belastungsparameter</b>	<b>physiologische Parameter</b>	<b>psychologische Parameter</b>
<b>Messinstrumente</b>	Laktat-Leistungsdiagnostik Laufband	Trainings- und Wettkampfprotokolle	Pulsuhr Polar RS 800, Polar S810i	Befindlichkeits-skalen
<b>Messparameter</b>	Herzfrequenz Laktat Leistung in km/h Zeit in Minuten Anstrengungs-empfinden	Art des Trainings Belastungsumfang in min./km Anstrengungs-empfinden nach Borg Motivation körperliches Befinden	Ruheherzfrequenz, Herzfrequenzvariabilität	Befindlichkeit
<b>Messhäufigkeit</b>	1 x während Normwertbestimmung 1 x 3-5 Tage nach Deutschlandlauf 1 x am Ende der Regenerationsphase	Trainingsprotokolle je Trainingstag Wettkampfprotokolle je Wettkampftag	täglich	täglich

Phase 1 der Untersuchung stellte die Normwertbestimmung dar und umfasste einen zeitlichen Rahmen von mindestens zwei und bis zu drei Wochen. Den Teilnehmern wurden keine Vorgaben bezüglich ihres Belastungsumfangs und der gewählten Belastungsintensität gemacht, jedoch waren sie instruiert, während dieser Phase nicht mehr als normalerweise üblich zu trainieren. Als Vergleichswert diente der in einem Vorabfragebogen angegebene durchschnittliche wöchentliche Belastungsumfang der Sportler, welcher nicht überschritten werden sollte. Es wurde zur Normwertbestimmung also eine Phase unterdurchschnittlicher bis durchschnittlicher Belastungsanforderungen genutzt, um die Immanenz möglicher Überbelastungen nahezu auszuschließen. Ein mindestens zweiwöchiger Zeitrahmen erschien angemessen, um individuelle Schwankungen ausreichend berücksichtigen zu können.

Die Auswahl eines geeigneten Zeitfensters für die Normwertbestimmung und eines Termins für die Leistungsdiagnostik erfolgte individuell und in Abstimmung mit der Wettkampf- und Trainingsplanung der Sportler.

Ausgehend von den in Phase 1 ermittelten Daten erfolgte das Erstellen individueller Normwertbereiche für die ausgewählten Parameter in Anlehnung an Kiviniemi et al. (2007), um auf dieser Grundlage Veränderungen während der Wettkampf- und Regenerationsphase individuell besser interpretieren zu können (vgl. Platen et al., 2002). Dazu wurden für jeden Parameter jedes Teilnehmers die jeweiligen Standardabweichungen von den Mittelwerten der Normwertbestimmung subtrahiert und addiert. Die so gebildeten Wertebereiche dienten als Referenzwerte für individuelle Parameterveränderungen während der folgenden Belastungsphasen (Deutschlandlauf und Regeneration) und damit als Grundlage für die Diskussion der Ergebnisse. Unter- oder Überschreitungen dieser Bereiche über mindestens drei aufeinanderfolgende Tage wurden als kritische Ereignisse definiert.

In Phase 2 wurden sämtliche beschriebenen Parameter während des Deutschlandlaufs (08.09.2008 bis maximal 24.09.2008) in identischer Form ermittelt. Anstelle der Trainingsprotokolle wurden Wettkampfprotokolle verwendet, die zusätzlich zu den äußeren Belastungsparametern das körperliche Befinden und die Motivation der Sportler vor Wettkampfbeginn sowie im Anschluss an den Wettkampf die Zufriedenheit der Teilnehmer mit dem erzielten Resultat erfassten. Außerdem wurde die Wettkampfleistung der Athleten als Durchschnittsgeschwindigkeit pro Etappe errechnet. Als Referenzwert diente die Durchschnittsgeschwindigkeit aller Teilnehmer, die die jeweilige Etappe erfolgreich beendeten.

Innerhalb eines Zeitfensters von drei bis fünf Tagen nach Beendigung des Deutschlandlaufs fand die zweite Leistungsdiagnostik statt. Außerdem wurden die Teilnehmer gebeten, einen Fragebogen zum Belastungsempfinden während des Deutschlandlaufs auszufüllen.

Während Phase 3 (Regenerationsphase) wurden die Verläufe der ausgewählten Parameter im direkten Anschluss an den Deutschlandlauf für mindestens zwei und bis zu drei Wochen dokumentiert. Ein abschließender Leistungstest am Ende dieser Phase sowie ein weiterer Fragebogen über die subjektive Einschätzung der individuellen Erholung sollten weitere Informationen über den Regenerationsverlauf liefern.

Tabelle 12 fasst die Messzeiträume für jeden Teilnehmer zusammen.

*Tab. 12: Unterschiedliche Messzeiträume der Untersuchungsteilnehmer*

Teilnehmer	Normwertbestimmung	Deutschlandlauf	Regenerationsphase
TN1	22.06.08 – 16.07.08	08.09.08 – 24.09.08	25.09.08 – 16.10.08
TN2	08.08.08 – 21.08.08 27.08.08 – 06.09.08	08.09.08 – 15.09.08	16.09.08 – 30.09.08
TN3	05.07.08 – 20.07.08	08.09.08 – 10.09.08	11.09.08 – 23.09.08
TN4	25.08.08 – 07.09.08	08.09.08 – 15.09.08	16.09.08 – 30.09.08
TN5	26.06.08 – 03.07.08 28.07.08 – 03.08.08	08.09.08 – 24.09.08	25.09.08 – 08.10.08
TN6	01.07.08 – 05.07.08 15.07.08 – 27.07.08	08.09.08 – 15.09.08	16.09.08 – 30.09.08

Die Sportler wurden im Vorfeld der Untersuchung schriftlich und mündlich ausführlich über die Ziele und Inhalte der Studie aufgeklärt. Die Fragebögen und Protokolle samt Anweisungen und Erläuterungen (siehe Anhang) wurden den Sportlern vor jeder Messphase zugesandt.

## 4.5 Messinstrumente

Zur Bestimmung der Parameter wurden unterschiedliche Messinstrumente eingesetzt, die im Folgenden geordnet nach den untersuchten Parametern näher beschrieben werden.

### 4.5.1 Befindlichkeit

Die Befindlichkeitsskalen von Abele-Brehm und Brehm (1986) sind ein mehrdimensionales Messverfahren auf der Basis der bipolaren affektiven Grunddimensionen Spannung (Aktivierung, Deaktivierung) und Bewertung (positiv, negativ). Der Fragebogen besteht aus vierzig Adjektiven mit einer fünfstufigen Antwortskalierung von „trifft für mein augenblickliches Befinden gar nicht zu“ bis „trifft für mein augenblickliches Befinden sehr stark zu“. Dabei werden die Stimmungskategorien *Ärger*, *Erregtheit*, *Aktiviertheit*, *gehobene Stimmung*, *Ruhe*, *Besinnlichkeit*, *Energielosigkeit* und *Deprimiertheit* bezogen auf die augenblickliche Wahrnehmung erfasst. Durch die Anordnung der beiden bipolaren Dimensionen können acht grundlegende Stimmungskategorien in einem Kreismodell dargestellt werden. Auch möglich ist die Darstellung der negativen bzw. positiven Stimmungskategorien im Verlauf, wie sie für vorliegende Untersuchung angewendet wurde. Die Bearbeitungsdauer für einen Fragebogen beträgt ca. drei bis fünf Minuten. Die Beurteilungsbögen sind klar und eindeutig formuliert und benötigen keine operationalisierten Erläuterungen der einzelnen Kategorien.

Die Dimensionierung der Tests ermöglicht die Gewinnung quantitativer Scores, die statistisch weiterverarbeitet werden können. Das Normalprofil bildet ein Eisbergprofil mit hohen Werten für *Aktiviertheit*, *gehobene Stimmung* und *Ruhe* und niedrigen Werten für *Ärger*, *Erregtheit*, *Energielosigkeit* und *Deprimiertheit*. Abweichungen der negativen Stimmungskategorien von den Werten 1 und 2 gelten als erhebliche Veränderungen und können als kritisch betrachtet werden (Birrer, 2004).

Voraussetzung für die Annahme eines Zusammenhangs zwischen dem gesteigerten Belastungsumfang des Deutschlandlaufs und möglicherweise auftretenden Beeinträchtigungen der Befindlichkeit der Teilnehmer während Phase 2 ist der Ausschluss alternativer Erklärungen für Stimmungverschlechterungen. Zu diesem Zweck wurden die Teilnehmer am Ende jedes Fragebogens abschließend nach aktuell emotional belastenden Ereignissen befragt.

### 4.5.2 Herzfrequenz und Herzfrequenzvariabilität

Für die Messungen der Ruheherzfrequenz und der Herzfrequenzvariabilität wurden die Pulsuhren RS 800 und S810i der Firma Polar verwendet, welche EKG- und millisekundengenaue Aufzeichnungen der Herzfrequenz ermöglichen. Die in einem Brustgurt befindlichen Elektroden erfassen die bei einer Herzaktion entstehenden elektrischen Potenziale und übertragen die Daten telemetrisch auf einen externen Empfänger in Armbanduhrformat. Die aktuellen Herzfrequenzwerte werden fortlaufend mittels LCD-Anzeige optisch dargestellt.

Die Rohdaten wurden im Schlag-zu-Schlag-Modus und für jeden Messtag im Empfänger gespeichert. Dies ermöglichte die Übertragung und Weiterverarbeitung der Daten auf den bzw. am Computer.

Abbildung 13 zeigt die verwendeten Pulsuhren.



Abb. 13: Pulsuhren RS 800 (links) und S810i (rechts)

#### 4.5.3 Belastungsparameter

Zur Bestimmung der individuellen Trainingsbelastung wurden Trainingsprotokolle eingesetzt, die folgende Angaben bezogen auf jeden Trainingstag ermittelten:

- die Anzahl der durchgeführten Trainingseinheiten
- die Gesamtdauer der durchgeführten Trainingseinheiten
- den Inhalt des durchgeführten Ausdauertrainings
- die Inhalte des sonstigen absolvierten sportlichen Trainings
- das Anstrengungsempfinden für die als am anstrengendsten empfundene Trainingseinheit des jeweiligen Trainingstages mithilfe der Borg-Skala

Die Borg-Skala ermöglicht eine 15-stufige Einschätzung des Anstrengungsempfindens vom Wert 6 (überhaupt keine Anstrengung) bis zum Wert 20 (maximale Anstrengung). Der Wert 9 stellt eine sehr lockere körperliche Belastung dar, wie z. B. einige Minuten langsames Spazieren. Ziffer 13 meint eine etwas harte, aber problemlose Belastung, während Ziffer 17 eine Belastungsstufe beschreibt, die sehr hart ist und zu der man sich stark antreiben muss. Ziffer 19 meint eine Form der Ausbelastung, die für die meisten Menschen der größten Anstrengung entspricht, die sie bis zu diesem Zeitpunkt erlebt haben (Borg, 1998).

Zur Bestimmung der Wettkampfbelastung wurden Wettkampfprotokolle verwendet, die bezogen auf den jeweiligen Wettkampf folgende Angaben abfragten:

- das körperliche Befinden und die Wettkampfmotivation vor dem Wettkampf mithilfe einer zehnstufigen Skala von 10 bis 100 %
- die Gesamtwettkampfdauer
- die zurückgelegte Distanz
- die Art des Wettkampfes

- besondere positive oder negative Ereignisse während des Wettkampfes
- die Zufriedenheit des Teilnehmers mit der erzielten Wettkampfleistung mittels einer zehnstufigen Skala von 10 bis 100 %
- das Anstrengungsempfinden mittels Borg-Skala

#### 4.5.4 Leistung

Bei den durchgeführten Leistungstests kamen folgende Laufbandapparaturen zum Einsatz:

- Saturn Laufband (Fa. HP Cosmos), Laufbandfläche 310 x 100 cm (TN1)
- Saturn Laufband (Fa. HP Cosmos), Laufbandfläche 310 x 100 cm (TN2)
- Run Excite Laufband (Fa. Technogym) (TN3)
- PPS55 Sport I Laufband (Fa. Woodway) (TN5)
- PPS55 Sport I Laufband (Fa. Woodway) (TN6)

Für die Ermittlung der Herzfrequenz während der Stufentests wurden folgende Geräte verwendet:

- Cardiax PC EKG (Fa. Mesa) (TN1)
- Cardiovit AT-2 plus (Fa. Schiller) (TN2)
- Polar Pulsuhr S610i (TN3)
- Polar Pulsuhr T 31 (TN5)
- Polar Pulsuhr T 31 (TN6)

Folgende Geräte wurden für die Blutentnahme bei der Laktatdiagnostik verwendet:

- Solofix Lanzette (Fa. Braun), 20 µl Mikropipette (Fa. EKF Diagnostic) (TN1)
- handelsübliche Lanzetten und Pipetten der Fa. Eppendorff (TN2)
- Lanzette Accu-Chek Softclix (Fa. Roche Diagnostics) (TN3)
- handelsübliche Stahllanzette (Fa. Gemar) und Pipette des Lactate Scout (Fa. SensLab) (TN5)
- Solofix Lanzette (Fa. Braun), 10 µl Mikropipette (Fa. Diagonal) (TN6)

Folgende Geräte und Software wurden für die Bestimmung der Laktatwerte eingesetzt:

- Ebio Plus Laktatanalysator (Fa. Eppendorf) (TN1)
- Ebio Plus Laktatanalysator (Fa. Eppendorf), ergonizer3 (Fa. Ergonizer) (TN2)
- Accutrend Lactate (Fa. Roche Diagnostics) (TN3)
- Lactate Scout (Fa. SensLab), lactware (Fa. Med-Tronik) (TN5)
- Vario Photometer (Fa. Diaglobal), Dr. Lange Küvettentest L KM 140 (Dr. Lange GmbH) (TN6)

Tabelle 13 gibt einen Überblick über die verwendeten Messapparaturen der beauftragten Institute.

Tab. 13: Überblick über verwendete Messapparaturen, Software und beauftragte Institute.

	TN1	TN2	TN3	TN5	TN6
<b>Laufband</b>	Saturn (Fa. HP Cosmos)  Laufbandfläche 310 x 100 cm	Saturn (Fa. HP Cosmos)  Laufbandfläche 310 x 100 cm	Run Excite (Fa. Technogym)	Speed Laufband PPS55 Sport I (Fa. Woodway)	Speed Laufband PPS55 Sport I (Fa. Woodway)
<b>Herz- frequenz- messung</b>	Cardiax PC EKG (Fa. Mesa)	Cardiovit AT-2 (Fa. Schiller)	Polar S610i	Polar Brustgurt T 31 Empfänger am Laufband	Polar Brustgurt T 31 / F11 Empfänger am Laufband
<b>Blutent- nahme</b>	Solofix Lanzette (Fa. Braun), Mikropipette (Fa. EKF Diagnostic)	Lanzetten und Pipetten der Fa. Eppendorf	Lanzette Accu- Chek Softclix der Fa. Roche Diagnostics, Pipette an Accutrend Lactate (Roche Diagnostics)	Stahllanzette der Firma Gemar, Pipette an Lactate Scout (SensLab)	Solofix Lanzette (Fa. Braun), Mikropipette (Fa. Diagonal)
<b>Laktat- bestim- mung</b>	Ebio Plus (Eppendorf)  enzymatisch- amperome- trisches Mess- prinzip	Ebio Plus (Eppendorf)  Software ergonizer 3  enzymatisch- amperome- trisches Mess- prinzip	Accutrend Lactate (Roche Diagnostics)  enzymatische Laktatbestim- mung mittels Reflometrie	Lactate Scout (SensLab)  Software lactware  enzymatisch- amperome- trisches Messprinzip	Vario Photometer (Fa. Diaglobal)  Dr. Lange Küvettestest L KM 140 (Lange GmbH)  enzymatisch- photometrisches Messprinzip
<b>Institut</b>	sportmedizi- nische Abtei- lung Olympia- stützpunkt Stuttgart	Universitäts- klinikum Freiburg	MantraSport Schweden	Reha-Zentrum Oldenburg	Medicos Osnabrück/ Klinikum Nürnberg

#### 4.5.5 Weitere Messinstrumente

Das für die Teilnehmerbeurteilung der Leistungstests angefertigte Testprotokoll (siehe Anhang) orientiert sich an den Vorgaben des Swiss Olympic Medical Centers und erfragt folgende Aspekte:

- die Uhrzeit der Testdurchführung
- das Training in den letzten 48 Stunden vor dem Test
- die Einnahme von Alkohol am Vorabend des Tests
- eine möglicherweise durchgeführte Diät
- den Zeitpunkt der letzten eingenommenen Mahlzeit
- das Auftreten von Krankheiten in den letzten 14 Tagen vor dem Test
- die Befindlichkeit und Motivation vor dem Test mithilfe einer zehnstufigen Skala von 10 bis 100 %
- die subjektive Beurteilung der Ausbelastung mittels Borg-Skala (Skala von 6 bis 20)

Der nach Beendigung des Deutschlandlaufs eingesetzte Fragebogen (siehe Anhang) beinhaltet Fragen zu folgenden Aspekten der Wettkampfphase:

- Bewertung der Anstrengung bezogen auf den kompletten Deutschlandlauf
- Belastungsverträglichkeit während des Deutschlandlaufs
- aktuelles psychisches und körperliches Befinden
- mögliche körperliche und gesundheitliche Beschwerden während des Laufs
- Gründe für einen eventuellen Abbruch des Laufs

Der am Ende der Regenerationsphase eingesetzte Fragebogen (siehe Anhang) beinhaltet Fragen zu folgenden Aspekten der dritten Messphase:

- psychisches und körperliches Befinden
- Erholungszustand
- durchgeführtes Training während der Regenerationsphase
- gesundheitliche Beschwerden

## 4.6 Untersuchungsmethoden

Ergänzend zu den bisherigen Angaben in Kapitel 4 folgt die Darstellung der Datengewinnung in detaillierter Form und geordnet nach den ermittelten Parametern.

### 4.6.1 Trainings- und Wettkampfbelastung

Das Ausfüllen der Trainingsprotokolle durch die Teilnehmer erfolgte unmittelbar nach Beendigung der Trainingseinheiten. Die Variablen zur Trainingsbelastung wurden aus einem Kategoriensystem des Trainings im Langstreckenlauf gewonnen und ermöglichten eine einfache und zügige Bearbeitung. Die Ermittlung des täglichen Belastungsumfangs erfolgte anhand der absolvierten Laufkilometer, der zeitlichen Dauer des Lauftrainings und des zusätzlichen Trainings und wurde ergänzt durch Angaben über das Anstrengungsempfinden. In Anlehnung an Foster (1998) wurde der wöchentliche Belastungsindex als Summe der täglichen Belastungsindizes dargestellt:

$\text{täglicher Belastungsindex} = \text{Dauer der Trainingsbelastung in Minuten} \times \text{Anstrengungsempfinden (1)}$ $\text{wöchentlicher Belastungsindex} = \text{Mittelwert täglicher Belastungsindex} \times 7 \text{ (2)}$
---

Die Wettkampfprotokolle wurden unmittelbar vor und unmittelbar nach jedem Wettkampf bearbeitet, da auch die Motivation und das Befinden der Teilnehmer vor dem Wettkampf sowie die Wettkampfszufriedenheit und besondere Ereignisse im Wettkampf abgefragt wurden.

Die von den Teilnehmern individuell erreichte Laufgeschwindigkeit jedes Wettkampftages diente als zusätzlicher Leistungsparameter. Als Referenzwert wurde der Mittelwert der Durchschnittsgeschwindigkeiten aller Teilnehmer herangezogen, die den jeweiligen Lauf beendeten.



#### 4.6.2 Befindlichkeit

Die Befindlichkeitsfragebögen, die explizit das *augenblickliche* Befinden der Sportler erfassten, wurden täglich zur gleichen Tageszeit – morgens beim oder nach dem Frühstück – ausgefüllt. Zusätzlich dazu wurden die Teilnehmer nach besonderen Ereignissen befragt, die das Befinden aktuell in positiver oder negativer Weise hätten beeinträchtigen können. Negative Ereignisse und ein damit verbundenes beeinträchtigtes Befinden führten zu einem Ausschluss der jeweiligen Daten in Phase 1. Somit sollte gewährleistet werden, dass das normaltypische Befinden der Sportler, unbeeinträchtigt von unvorhergesehenen negativen Ereignissen, abgebildet wurde.

Zur Darstellung eines individuellen Befindlichkeitsprofils wurden die durch den Fragebogen ermittelten positiven Kategorien *Aktiviertheit*, *gehobene Stimmung* und *Ruhe* zusammengefasst, indem die Mittelwerte dieser Parameter pro Messtag für jede Messphase im Verlauf angezeigt wurden. Ein ebensolches Vorgehen wurde für die negativen Parameter *Ärger*, *Erregtheit*, *Energielosigkeit* und *Deprimiertheit* angewandt. Der Parameter *Besinnlichkeit* wurde, da er aus messtheoretischen Gründen kaum interpretierbar scheint (Birrer, 2004), aus der Untersuchung herausgenommen.

Die Normwerte wurden mithilfe eines Verfahrens in Anlehnung an Verfahren individueller Trainingssteuerung nach Kiviniemi et al. (2007) berechnet. Dazu wurden die Standardabweichung und Mittelwerte der positiven und negativen Parameterkombinationen für Phase 1 berechnet. Vom Mittelwert der positiven Parameter wurde die Standardabweichung subtrahiert und als unterer Normwert definiert. Zum Mittelwert der in Phase 1 erfassten Daten der negativen Parameter wurde die Standardabweichung dieser Werte addiert und als oberer Grenzwert des Normbereichs festgelegt:

*Grenzwert positive Parameter = Mittelwert während Normwertbestimmung - Standardabweichung (3)*

*Grenzwert negative Parameter = Mittelwert während Normwertbestimmung + Standardabweichung (4)*

Der Normwertbereich der individuellen Befindlichkeit der Teilnehmer umfasste also in Bezug auf die positiven Parameter alle Werte oberhalb des definierten Grenzbereiches, der Normbereich der negativen Parameter alle Werte unterhalb des angegebenen Grenzbereiches.

#### 4.6.3 Herzfrequenz und Herzfrequenzvariabilität

Über die methodische Vorgehensweise beim Messen der Ruheherzfrequenz bzw. Herzfrequenzvariabilität wurden die Sportler, ebenso wie in Bezug auf die übrigen Messparameter, im Vorfeld ausführlich aufgeklärt (siehe Anhang). Detaillierte Anweisungen wurden in schriftlicher Form zusammen mit Protokollbögen und den erforderlichen Pulsuhren RS800 und S810i an die Teilnehmer verschickt. Nach Durchführung der zweiwöchigen Normwertmessungen wurden die Pulsuhren und Protokolle von den Teilnehmern per Post zurückversendet und die Daten gespeichert. Zu Beginn des Deutschlandlaufes wurden den Sportlern wieder die Pulsuhren und entsprechende weitere Unterlagen überreicht.

Während des gesamten Untersuchungszeitraums gab es engmaschige Rücksprachen über den Verlauf der Messungen und das Auftreten etwaiger Probleme.

Die Messungen wurden täglich morgens nach dem Aufwachen und nach Entleerung der Blase, jedoch vor Einnahme des Frühstücks durchgeführt. Jedwede Störungen während der Messphasen, wie z. B. Geräusche oder erneutes Einschlafen, wurden ebenso wie nächtliche Schlafstörungen auf einem zugehörigen Verlaufsplan vermerkt.

Nach einer zwei- bis fünfminütigen Entspannungsphase betrug die zeitliche Dauer der gesamten Messung zehn bis fünfzehn Minuten. Die Sportler wurden angehalten, möglichst sämtliche Störfaktoren im Vorfeld auszuschließen. Während der Messungen, die liegend und mit geschlossenen Augen durchgeführt wurden, sollten die Sportler ruhig, gleichmäßig und entspannt atmen. Auf Alkohol am Vorabend sollte verzichtet sowie eine gleichmäßige Schlafdauer gewährleistet werden. Die vorgegebene Entspannungsphase sowie die Hinweise auf gleichmäßige Messbedingungen dienten dazu, störungsbedingte Schwankungen der Werte so gering wie möglich zu halten.

Die Pulsuhren Polar S810i und RS800 ermöglichen eine Datengewinnung in einfacher und nichtinvasiver Form. Die Teilnehmer konnten die Messungen selbständig nach dem vorgegebenen Muster und in dem dafür vorgesehenen morgendlichen Zeitfenster durchführen. Zum Start der Messung genügte ein zweimaliges Drücken des roten Messknopfes der Uhren, ein weiteres Drücken beendete die Messung. Die Aufzeichnung der Herzfrequenz in Form von Schlag-zu-Schlag-Intervallen war in den Uhren entsprechend vorprogrammiert worden. Die Messungen der einzelnen Tage wurden in den Uhren automatisch gespeichert und die Rohdaten später mittels Infrarotschnittstelle als HRM-Dateien auf den Computer übertragen.

Diese wurden dann mithilfe des Programms *Kubios-HRV* bearbeitet und ausgewertet. Zunächst wurden über die Einstellung *custom* Rohwertabweichungen aufeinanderfolgender RR-Intervalle von über 0,3 Sekunden als Artefaktgrenze definiert, d. h., Fluktuationen oberhalb dieses Zeitbereichs wurden von der Software als Artefakt erkannt und automatisch eliminiert. Kubios berechnet mithilfe einer kubischen Spline Interpolation entsprechende Korrekturwerte (vgl. Tarvainen & Niskanen, 2008).

In einem weiteren Schritt wurde eine nicht-lineare Trendbereinigung mittels Smoothness-Priors durchgeführt (vgl. Tarvainen & Niskanen, 2008), um niederfrequente Baseline-Schwingungen aus dem Signal zu eliminieren und stationäre Bedingungen für die parametrische Spektralschätzung zu gewährleisten. Als cut-off Frequenz galt  $f_c = 0,035$  Hz.

Die vorgenommenen Parametereinstellungen sind beispielhaft in Abbildung 14 dargestellt:

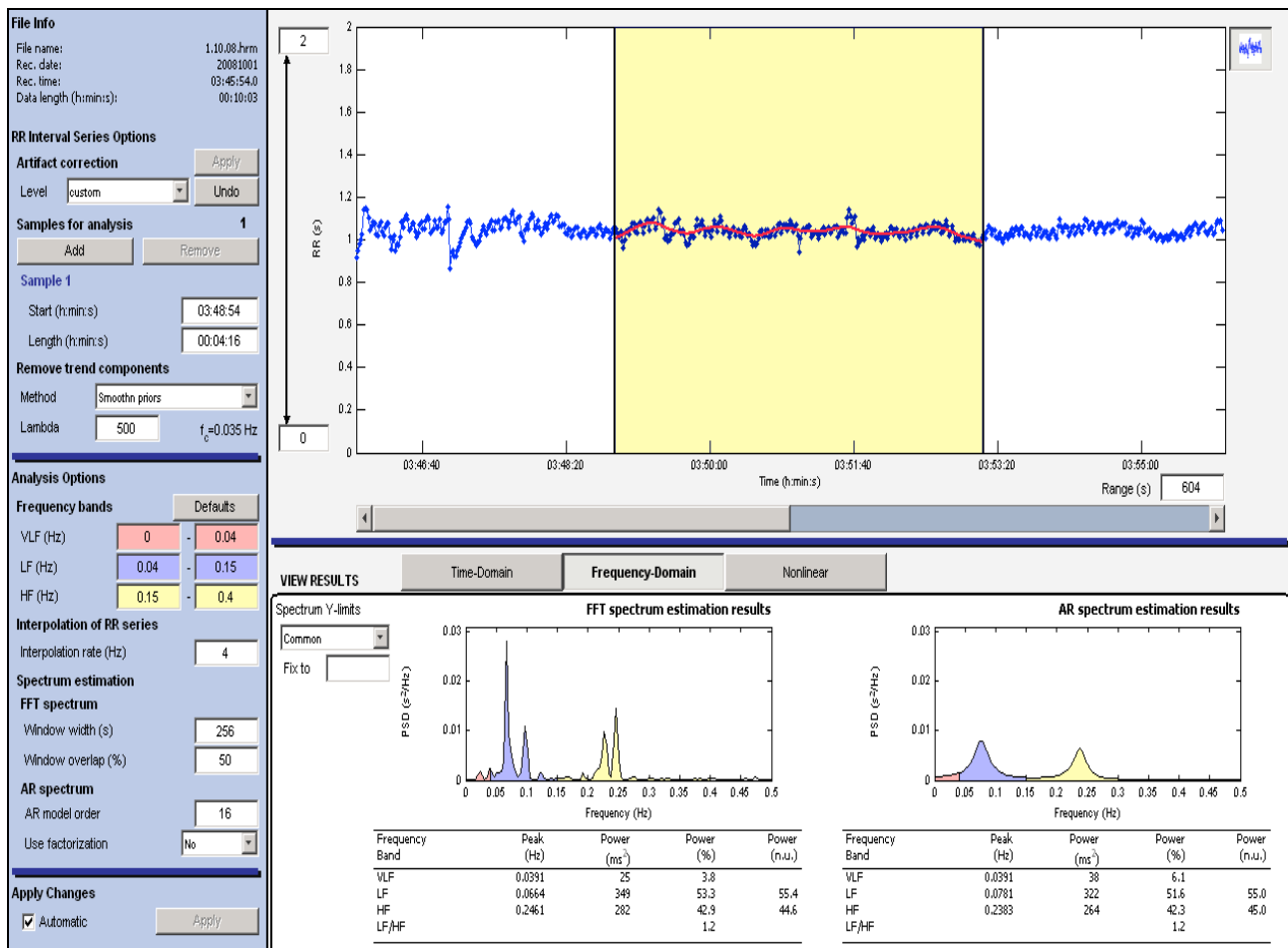


Abb. 14: Vorgenommene Einstellungen in der Software Kubios-HRV zur Ermittlung der Parameter der Herzfrequenzvariabilität

Bei der Auswahl der für die Auswertung der Herzfrequenzvariabilität geeigneten Tachogrammbereiche definiert Horn (2003) folgende Kriterien:

- Das Zeitfenster sollte in einem für die Gesamtaufzeichnung repräsentativen und insgesamt stationären Bereich liegen.
- Der Messabschnitt sollte eher eine hohe als eine niedrige Herzfrequenzvariabilität einfangen.
- Der gewählte Messabschnitt sollte möglichst artefaktfrei sein, d. h. eine Artefakthäufigkeit von weniger als 5 % aufweisen.
- Der Messabschnitt sollte aus 256 RR-Intervallen bestehen.

Mehrere Probleme resultieren aus der vorgeschlagenen Vorgehensweise. Die Auswahl eines repräsentativen, gleichzeitig jedoch mathematisch stationären Tachogrammbereichs ist häufig nicht zu gewährleisten und erfordert eine kaum leistbare und aufwendige Prüfung des Rohdatensatzes. Mögliche Störquellen sind zudem häufig nicht zweifelsfrei anhand der Tachogrammläufe zu erkennen, somit erscheint dieses Vorgehen willkürlich und subjektiv.

Um Auswahlfehler zu vermeiden, erfolgte die Entscheidung für eine einheitliche und daher nachvollziehbare Vorgehensweise bei der Auswertung aller in die Untersuchung einfließender Tachogramme:

- Jeder ausgewählte Tachogrammbereich umfasste einen zeitlichen Rahmen von 256 Sekunden.
- Jeder ausgewählte Tachogrammbereich startete nach einer genau dreiminütigen Vorlaufphase, sofern der erste Messpunkt kein Artefakt darstellte und die Artefakthäufigkeit weniger als 5 % betrug.

Folgende Parameter der Herzfrequenzvariabilität wurden mithilfe der Kubios-HRV Software ermittelt und statistisch weiterverarbeitet:

- die Zeitbereichsparameter RMSSD (Wurzel des mittleren Quadrates aufeinander folgender RR-Differenzen) sowie SDNN bzw. RRSD (Standardabweichung der RR-Intervallauern), berechnet nach folgenden Formeln (vgl. Tarvainen & Niskanen, 2008):

$$\text{RMSSD} = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{j=1}^{N-1} (\text{RR}_{j+1} - \text{RR}_j)^2}. \quad (5)$$

$$\text{SDNN} = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{j=1}^N (\text{RR}_j - \overline{\text{RR}})^2} \quad (6)$$

- die mithilfe orthogonaler Regressionsanalyse errechneten Parameter des Poincaré Plots, SD1 (SOL, Standardabweichung der orthogonalen Abstände der Punkte  $P_i$  zur Regressionsgeraden  $X_0$  durch den Längsdurchmesser der 95 %-Vertrauensellipse) als Maß für die hochfrequente, hauptsächlich vagal modulierte Variabilität und SD 2 (SOW, Standardabweichung der orthogonalen Abstände zur Regressionsgeraden  $Y_0$  durch den Querdurchmesser der 95 %-Vertrauensellipse) als Maß für die niederfrequente Variabilität
- LF-Power sowie HF-Power, also die Zuordnung der Signalbestandteile in niedrige (0,04-0,15 Hz) und hohe (0,15-0,4 Hz) Frequenzbereiche anhand des Autoregressiven Modells (AR Modell)

Die Kubios-HRV Software errechnet die Parameter des Poincaré Plots mit den in Brennan, Palaniswami und Kamen (2001) bzw. Horn (2003) einzusehenden Formeln. Auch die Formeln für die Erstellung der Ellipse um die in folgender Abbildung ersichtliche Punktwolke sind in Brennan et al. (2001) dargelegt (vgl. Tarvainen & Niskanen, 2008). SD 1 entspricht dabei der Standardabweichung in Richtung  $X_1$ , SD 2 der Standardabweichung der Messpunkte in Richtung  $X_2$  (vgl. Tarvainen & Niskanen, 2008).

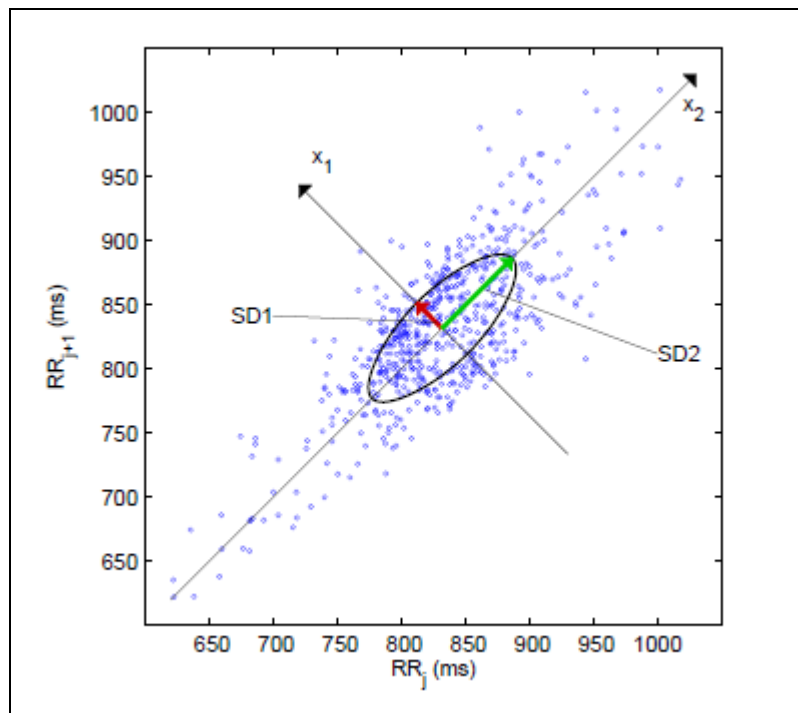


Abb. 15: Darstellung eines Poincaré Plots in Kubios-HRV

Die Parametrisierung im Frequenzbereich erfolgte mit der parametrischen Autoregressiven Spektralschätzung (AR-Modell) unter Einsatz des Forward-Backward-Linear-Least-Square Algorithmus (FBLS) und einer fixen Modellordnung von 16 (Boardman, Schlindwein, Rocha & Leite, 2002).

Eine Übersicht der verwendeten kardiologischen Parameter bietet Tabelle 14:

Tab. 14: Beschreibung der verwendeten Parameter der Herzfrequenz(variabilität).

Parameter	Einheit	Beschreibung
<b>RRsd</b>	ms	Standardabweichung der Längen der RR-Intervalle
<b>rMSSD</b>	ms	Wurzel des mittleren Quadrates aufeinanderfolgender RR-Differenzen
<b>SD1 (SOL)</b>	ms	Standardabweichung der orthogonalen Abstände der Punkte $P_i$ zur Regressionsgeraden $X_0$ durch den Längsdurchmesser der 95 %-Vertrauensellipse
<b>SD2 (SOW)</b>	ms	Standardabweichung der orthogonalen Abstände zur Regressionsgeraden $Y_0$ durch den Querdurchmesser der 95 %-Vertrauensellipse
<b>low frequency power</b>	%	prozentualer niederfrequenter Anteil (0,04-0,15 Hz) an der Gesamtspektralleistung aller RR-Intervalle im Analysebereich (bis 0,4 Hz)
<b>high frequency power</b>	%	prozentualer hochfrequenter Anteil (0,15-0,4 Hz) an der Gesamtspektralleistung aller RR-Intervalle im Analysebereich (bis 0,4 Hz)
<b>low frequency power</b>	ms <sup>2</sup>	Spektralleistung im LF-Frequenzband von 0,04–0,15 Hz

Parameter	Einheit	Beschreibung
high frequency power	ms <sup>2</sup>	Spektralleistung im HF-Frequenzband von 0,15–0,4 Hz
Ruheherzfrequenz	Schläge pro Minute	mittlere Herzfrequenz der jeweiligen Tachogrammbereiche (256 Sekunden)

Die Berechnung der Normwertbereiche für die Parameter der Herzfrequenzvariabilität und Herzfrequenz erfolgte in Anlehnung an das bereits beschriebene Verfahren nach Kiviniemi et al. (2007). Für jeden Parameter wurden Mittelwerte bezogen auf Phase 1 der Untersuchung berechnet und die jeweilige Standardabweichung von diesem addiert und subtrahiert. Die so entstandenen unteren und oberen Grenzwerte dienten der Bestimmung und Einordnung der Normwertbereiche, die für die folgenden Messphasen als Referenzwerte dienten.

#### 4.6.4 Leistungsdiagnostik

Im Verlauf der zweiwöchigen Normwertbestimmung, drei bis fünf Tage nach Beendigung des Deutschlandlaufs sowie am Ende der anschließenden zweiwöchigen Regenerationsphase führten die Teilnehmer eine Leistungsdiagnostik an einem medizinischen Institut in der Nähe ihres Wohnortes bzw. Aufenthaltsortes durch (eine Liste der ausgewählten Institute befindet sich im Anhang).

Der zweite Test sollte nach einigen Tagen Erholung und nicht unmittelbar nach Beendigung des Deutschlandlaufs durchgeführt werden, um der Gefahr entleerter Glykogenspeicher und damit verbunden einer beeinträchtigten Leistungsfähigkeit und reduzierter Laktatwerte vorzubeugen:

“Because reduced maximal performance and lactate concentrations are also the result of muscular glycogen depletion after intensive training, performance testing should be done after at least 2 days of reduced training intensity or rest“ (Urhausen & Kindermann, 2002b, S. 99).

Mit dem medizinischen Personal und den Sportlern wurden die Standards für die Leistungstests im Vorfeld besprochen. Diese orientierten sich an den Vorgaben des SOMC (Swiss Olympic Medical Center) und deren Anleitung *Leistungsdiagnostik Ausdauer* (Tschopp, 2001). Unmittelbar vor dem ersten Test wurden den Sportlern die Vorgaben noch einmal in schriftlicher Form und zusammen mit einem Testprotokoll zugesandt.

Zur Vorbereitung auf die Leistungstests erhielten die Teilnehmer folgende Vorgaben:

- In den 48 Stunden vor den Tests sollte kein Wettkampf sowie kein intensives bzw. umfangreiches Training mehr absolviert werden.
- Die Sportler sollten sich gleich gut auf die Tests vorbereiten.
- Die Tests sollten zur gleichen Tageszeit durchgeführt werden.
- Zu Beginn der Tests sollten fünf Minuten zum Aufwärmen auf dem Testgerät verwendet werden.
- Die letzte Mahlzeit sollte wie gewohnt eingenommen werden, idealerweise jedoch nicht innerhalb der letzten drei Stunden vor dem Test.

- Auf Alkohol am Vorabend sollte verzichtet werden.
- Die Sportler sollten sich bei den Tests zu einer maximalen Ausbelastung antreiben.

Folgende Testparameter wurden in Orientierung an das SOMC ausgewählt:

Tab. 15: Kriterien der durchgeführten stufenförmigen Ausbelastungstests.

Laktat-Leistungsdiagnostik	
<b>Messparameter</b>	Laktat Herzfrequenz Leistung in km/h
<b>Startgeschwindigkeit</b>	10 km/h
<b>Stufendauer</b>	3 Minuten
<b>Pause zwischen Stufen</b>	30 Sekunden
<b>Steigerungsrate pro Stufe</b>	1,8 km/h
<b>Belastungsabbruch</b>	bei subjektiver Erschöpfung

Die maximale Leistung der getesteten Sportler ergab sich aus der erzielten Laufgeschwindigkeit. Wurde der Test vor dem Ende einer Stufe abgebrochen, wurde die Maximalleistung aus der noch geleisteten Zeit intrapoliert.

Bsp.: Der Sportler lief 2 Minuten bei einer Geschwindigkeit von 17,2 km/h  
 Maximalgeschwindigkeit =  $15,4 \text{ km/h} + 1,8 \text{ km/h} \times 2/3 = 16,6 \text{ km/h}$ .

Die Laktatbestimmung wurde zu Beginn, nach jeder Belastungsstufe sowie nach Abbruch des Tests durchgeführt. Die Blutentnahme erfolgte am hyperämisierten linken oder rechten Ohrfläppchen der Teilnehmer mithilfe der in Kapitel 4.5.4 aufgelisteten Lanzetten und Pipetten. Die Laktatbestimmung wurde mit enzymatisch-amperometrischen (Ebio Plus; Lactate Scout) bzw. enzymatisch-photometrischen (Vario Photometer) Messmethoden und mittels der genannten Laktatanalysatoren und Analysesoftware durchgeführt. Für die Herzfrequenzmessungen in 5-Sekunden-Intervallen wurden die in Kapitel 4.5.4 genannten Apparaturen eingesetzt.

Die Raumtemperaturen bewegten sich in dem von der SOMC vorgegebenen Rahmen zwischen 18 und 27° Celsius. Die Sportler waren angehalten, die Leistungstests möglichst zu identischen Tageszeiten zu absolvieren und eine maximale Ausbelastung zu gewährleisten.

## 4.7 Diagnoseparameter

In Anlehnung an Vogel et al. (2001) wurden a priori folgende Diagnoseparameter definiert, die eine Überbelastung anzeigen könnten:

- eine Leistungsminderung von mindestens 10 % (in km/h) beim zweiten oder dritten Leistungstest in Relation zum Eingangstest
- eine Abnahme der maximalen Laktatwerte um mindestens 20 % beim zweiten oder dritten Leistungstest in Relation zum Eingangstest
- eine Abnahme der maximalen Herzfrequenz um mindestens 10 Schläge pro Minute beim zweiten oder dritten Leistungstest in Relation zum Eingangstest
- Abbruch des Deutschlandlaufs oder Überschreiten des Zeitlimits aufgrund von Erschöpfung, ohne dass eine Verletzung oder Krankheit vorlag

Zusätzlich wurden, ausgehend von den Ergebnissen der Normwertbestimmungen, folgende Ereignisse als kritisch definiert:

- Die Mittelwerte der vier negativen Parameter der Befindlichkeitsskalen (Ärger, Erregtheit, Energielosigkeit, Deprimiertheit) liegen über einen Zeitraum von mindestens drei aufeinanderfolgenden Tagen oberhalb des vordefinierten Normwertbereichs, ohne dass der Sportler ein belastendes Ereignis außerhalb des Wettkampfes anführt.
- Die Mittelwerte der drei positiven Parameter der Befindlichkeitsskalen (Aktiviertheit, gehobene Stimmung, Ruhe) liegen über einen Zeitraum von mindestens drei aufeinanderfolgenden Tagen unterhalb des vordefinierten Normwertbereichs, ohne dass der Sportler ein belastendes Ereignis außerhalb des Wettkampfes anführt.
- Die Ruheherzfrequenz am Morgen liegt an mindestens drei aufeinanderfolgenden Tagen außerhalb des Normwertbereichs.
- Mindestens einer der ermittelten Parameter der Herzfrequenzvariabilität liegt an mindestens drei aufeinanderfolgenden Tagen außerhalb des Normwertbereichs.

Es ist davon auszugehen, dass vor dem Eintreten leistungsspezifischer Veränderungen im Zusammenhang mit Überbelastungen symptombezogene Anpassungen stattfinden, die individuell unterschiedlich sein können. Diese Anpassungen könnten auf individueller Basis geeignet sein, um als Frühwarnsystem zu fungieren, und somit im Rahmen eines Trainingsmonitorings präventiv nutzbar gemacht werden. Daher wurde angenommen, dass sich bei denjenigen Sportlern, die Leistungsminderungen im Anschluss an den Deutschlandlauf aufweisen oder den Deutschlandlauf abbrechen würden, eine vermehrte Anzahl kritischer Ereignisse zeigen würde.

Einschränkend muss erwähnt werden, dass, um explizit von Diagnoseparametern für eine Überbelastung sprechen zu können, ausführliche und aufwendige medizinische Untersuchungen der Sportler im Anschluss an die Wettkampfphase notwendig gewesen wären, um *sämtliche* mögliche krankheitsbedingte Ursachen einer Leistungsminderung ausschließen zu können. Da diese nicht vorliegen, kann eine abschließende Diagnose nicht vorbehaltlos getroffen werden.



## 4.8 Statistische Methoden

Mit Hilfe eines inferenzstatistischen Testverfahrens, der einfaktoriellen Varianzanalyse (ANOVA), erfolgte der intraindividuelle Vergleich der Mittelwerte und Standardabweichungen einzelner Untersuchungsparameter (Ruheherzfrequenz, HRV, Befindlichkeit) während der drei Messphasen (Normwertbestimmung, Deutschlandlauf, Regenerationsphase). Die Nullhypothese lautet, dass alle drei Mittelwerte der untersuchten Parameter gleich sind und ein signifikanter Unterschied nicht existiert. Die Streuung der Werte wird in eine Komponente, die auf einen zufälligen Fehler zurückzuführen ist, und in Komponenten, die auf unterschiedlichen Mittelwerten beruhen, zerlegt. Diese werden auf statistische Signifikanz überprüft. Mit der ANOVA ist es möglich, mehr als zwei Gruppenmittelwerte simultan zu vergleichen.

Es wurde demnach getestet, ob es zu signifikanten Veränderungen der abhängigen Variablen zwischen den drei Untersuchungszeiträumen (unabhängige Variable Belastungsumfang) kam. Die Signifikanzüberprüfung erfolgte mittels post-hoc Tests nach Scheffé in SPSS 15.0 und wird in Kapitel 5.7 detailliert dargestellt. Es wurden für jeden Teilnehmer die Mittelwerte einzelner Parameter der Herzfrequenzvariabilität (RRsd, rMSSD und HF (ms<sup>2</sup>)), der Ruheherzfrequenzwerte sowie der negativen und positiven Befindlichkeitsparameter für die drei Messphasen gebildet und mittels ANOVA überprüft. Das Signifikanzniveau wurde auf  $p < .05$  festgelegt, sodass lediglich 5 % der noch als zufallsbedingt anzunehmenden Schwankungen der Ergebnisse als falsch angenommen werden und damit zu einer Ablehnung der Nullhypothese führen.

Die Anzahl der Messdaten war individuell unterschiedlich und abhängig davon, ob die Teilnehmer den Deutschlandlauf abbrechen mussten oder diesen komplett absolvierten. Die genauen Angaben über die Dauer der einzelnen Messphasen sind in Kapitel 5 aufgeführt.

Nach Platen et al. (2002) ist die Abhängigkeit von Daten, die an einer Person gemessen wurden, nicht zwangsläufig größer als die innerhalb einer Gruppe, somit ist das Problem der Abhängigkeit der verglichenen Datensätze zu vernachlässigen.

## 5 Untersuchungsergebnisse und Diskussion

Die Darstellung der Ergebnisse erfolgt am Einzelfall orientiert und gegliedert nach allgemeinen Informationen über die Untersuchungsteilnehmer, nach den während der Trainings-, Wettkampf- und Regenerationsphasen wirkenden Stressoren (Belastungsumfang), wettkampfspezifischen Leistungsparametern sowie den Parametern auf der Symptomebene (Befindlichkeit, Ruheherzfrequenz, Herzfrequenzvariabilität).

Die Verläufe der einzelnen Messparameter werden im Zeitreihendesign graphisch dokumentiert, die während des Deutschlandlaufs und der Regenerationsphase aufgetretenen kritischen Ereignisse sind anhand der mindestens dreitägigen Grenzwertüber- oder -unterschreitungen auszumachen und werden im Anschluss an die Darstellung der Parameterverläufe zusammengefasst sowie graphisch dargestellt. Aufgrund der Vielzahl der untersuchten Parameter werden die Ergebnisse direkt im Anschluss an die Darstellung diskutiert.

Der auf den Einzelfall bezogene Vergleich der Mittelwerte einzelner Parameter über die jeweiligen Messphasen mittels einfaktorieller Varianzanalyse erfolgt im Anschluss an die deskriptive Darstellung der Ergebnisse.

Von den sechs untersuchten Teilnehmern beendeten zwei den Deutschlandlauf komplett (TN1, TN5), wobei sich TN5 am letzten Wettkampftag einen Muskelfaserriss zuzog. Vier Teilnehmer brachen den Deutschlandlauf vorzeitig ab (TN2, TN3, TN4, TN6), dies bedingt die unterschiedliche Anzahl an Messungen für die zweite Messphase. Die unterschiedliche Anzahl an Messungen während der übrigen Messphasen erklärt sich mit der Bereitschaft einzelner Teilnehmer, den vorgegebenen Messzeitraum von mindestens zwei Wochen auszudehnen, bzw. mit dem vorzeitigen Abbruch der Messungen oder dem Auslassen einzelner Messtage. Fehlende Messungen, wie sie vor allem bei TN5 und TN6 während des Deutschlandlaufs und der Regenerationsphase vorkamen, reduzieren die Vorhersagequalität der Wahrscheinlichkeit des Eintreffens eines kritischen Ereignisses deutlich. Diese Tatsache findet innerhalb der Ergebnisdiskussion Berücksichtigung.

## 5.1 Allgemeine Informationen

Im Folgenden werden sämtliche anhand von Vorabfragebögen ermittelten allgemeinen und trainingsbezogenen Informationen über die Teilnehmer zusammengefasst. In den Tabellen 16 – 21 erfolgt eine Darstellung der individuellen Messzeiträume der Teilnehmer.

### 5.1.1 TN1

Tab. 16: Messzeiträume TN1.

Normwertbestimmung	Deutschlandlauf	Regenerationsphase
22.06.08 – 16.07.08	08.09.08 – 24.09.08	25.09.08 – 16.10.08

Der Teilnehmer TN1 war zu Beginn der Studie 47 Jahre alt und wog bei einer Körpergröße von 1,74 m zu diesem Zeitpunkt 67 kg. Sein bisheriger jährlicher Gesamttrainingsdurchschnitt betrug ca. 15 Stunden pro Woche und beinhaltete wöchentlich etwa 138 Kilometer Lauftraining. Dies entspricht einem durchschnittlichen täglichen Belastungsumfang von 2,1 Stunden bzw. 19,7 km. Daneben arbeitete der Teilnehmer während der ersten Messphase 60 Stunden in der Woche. Er nahm 2008 zum zweiten Mal an einem Etappenmarathon teil und trainierte seit acht Jahren im Ausdauerbereich. TN1 war bei Studienbeginn gesund und nahm während des Untersuchungszeitraums keine Medikamente ein.

### 5.1.2 TN2

Tab. 17: Messzeiträume TN2.

Normwertbestimmung	Deutschlandlauf	Regenerationsphase
08.08.08 – 21.08.08	08.09.08 – 15.09.08	16.09.08 – 30.09.08
27.08.08 – 06.09.08		

Der Teilnehmer TN2 war zu Untersuchungsbeginn 45 Jahre alt und wog bei einer Körpergröße von 1,80 m 70 kg. Sein jährlicher Gesamttrainingsdurchschnitt lag bei ca. 12 Stunden pro Woche, die etwa 85 Kilometer Lauftraining umfasste. Dies entspricht einem durchschnittlichen täglichen Belastungsumfang von 1,7 Stunden und 12,1 km. Zusätzlich arbeitete TN2 während der ersten Messphase 50 Stunden in der Woche. Er nahm 2008 zum vierten Mal an einem Etappenmarathon teil und trainierte bereits seit 26 Jahren im Ausdauerbereich. TN2 war zu Studienbeginn gesund und nahm keine Medikamente ein.

### 5.1.3 TN3

Tab. 18: Messzeiträume TN3.

Normwertbestimmung	Deutschlandlauf	Regenerationsphase
05.07.08 – 20.07.08	08.09.08 – 10.09.08	11.09.08 – 23.09.08

TN3 war bei Studienbeginn 52 Jahre alt, 1,97 m groß und wog 96 kg. Er trainierte auf das Gesamttrainingsjahr bezogen wöchentlich ca. 7 bis 11 Stunden und lief in dieser Zeit zwischen 60 und 90 Kilometern. Dies entspricht einem durchschnittlichen täglichen Belastungsumfang von ca. 1,3 Stunden bzw. 10,7 km. Daneben arbeitete der Teilnehmer durchschnittlich 40 Stunden in der Woche. Zum Zeitpunkt der ersten Messphase überstieg die Arbeitsbelastung diesen Zeitrahmen zeitweise. Der Teilnehmer nahm 2008 zum achten Mal an einem Etappenmarathon teil und trainierte seit 1991 im Ausdauerbereich.

TN3 war zum Studienzeitpunkt gesund und nahm keine Medikamente ein.

### 5.1.4 TN4

Tab. 19: Messzeiträume TN4.

Normwertbestimmung	Deutschlandlauf	Regenerationsphase
25.08.08 – 07.09.08	08.09.08 – 15.09.08	16.09.08 – 30.09.08

Der Teilnehmer TN4 war zu Beginn der Studie 31 Jahre alt und wog bei einer Körpergröße von 1,79 m zu diesem Zeitpunkt 65 kg. Sein jährlicher Gesamttrainingsdurchschnitt betrug ca. 18 Stunden pro Woche und beinhaltete wöchentlich etwa 180 Kilometer Lauftraining. Dies entspricht einem durchschnittlichen täglichen Belastungsumfang von 2,6 Stunden bzw. 25,7 km. Daneben arbeitete der Teilnehmer während der ersten Messphase 38 Stunden in der Woche. Er nahm 2008 zum zweiten Mal an einem Etappenmarathon teil und trainierte zu diesem Zeitpunkt seit acht Jahren im Ausdauerbereich. Er war zu Studienbeginn gesund und nahm während des Untersuchungszeitraums keine Medikamente ein.

Der Teilnehmer hatte in den Monaten vor Beginn des Deutschlandlaufs mit verschiedenen Verletzungen zu kämpfen, welche einen gezielten Trainingsaufbau erschwerten. Er trainierte daher auch während der Normwertbestimmung nur sehr reduziert und machte einen Verzicht auf die Durchführung der Laktatleistungstests auf dem Laufband zur Bedingung für die Teilnahme an der Studie.

### 5.1.5 TN5

Tab. 20: Messzeiträume TN5.

Normwertbestimmung	Deutschlandlauf	Regenerationsphase
26.06.08 – 03.07.08	08.09.08 – 24.09.08	-
28.07.08 – 03.08.08		

TN5 war zum Start der Studie 47 Jahre alt und wog bei einer Körpergröße von 1,71 m 71 kg. Sein jährlicher Gesamttrainingsdurchschnitt betrug ca. 8 Stunden pro Woche, was etwa 80 Kilometer Lauftraining beinhaltete. Dies entspricht einem durchschnittlichen täglichen Belastungsumfang von 1,1 Stunden bzw. 11,4 Kilometern. Daneben arbeitete der Teilnehmer während der ersten Messphase 40 Stunden pro Woche. Er nahm 2008 zum zweiten Mal an einem Etappenmarathon teil und trainierte seit 2002 im Ausdauerbereich. Der Teilnehmer war zu Studienbeginn gesund und nahm keine Medikamente ein.

Die Aufsplittung der Normwertbestimmung in zwei Phasen erfolgte aufgrund eines 24-Stunden-Laufes am 05./06. Juli. Der Teilnehmer nahm während der Regenerationsphase keine weiteren Messungen vor.

### 5.1.6 TN6

Tab. 21: Messzeiträume TN6.

Normwertbestimmung	Deutschlandlauf	Regenerationsphase
14.07.08 – 27.07.08	08.09.08 – 15.09.08	16.09.08 – 30.09.08

Der Teilnehmer TN6 war zu Beginn der Studie 43 Jahre alt und wog bei einer Körpergröße von 1,80 m zu diesem Zeitpunkt 82 kg. Sein auf das gesamte Trainingsjahr bezogener mittlerer wöchentlicher Trainingsumfang betrug 10–20 Stunden und beinhaltete 100–150 Kilometer Lauftraining. Dies entspricht einem durchschnittlichen täglichen Belastungsumfang von 1,4–2,9 Stunden bzw. 14,3–21,4 km. Daneben arbeitete der Teilnehmer 40 Stunden in der Woche. Er nahm 2008 zum ersten Mal an einem Etappenmarathon teil und trainierte zu Studienbeginn seit zwei Jahren im Ausdauerbereich. TN6 war zu Studienbeginn gesund und nahm keine Medikamente ein.

## 5.2 Deskriptive Ergebnisdarstellung

### 5.2.1 Stressoren

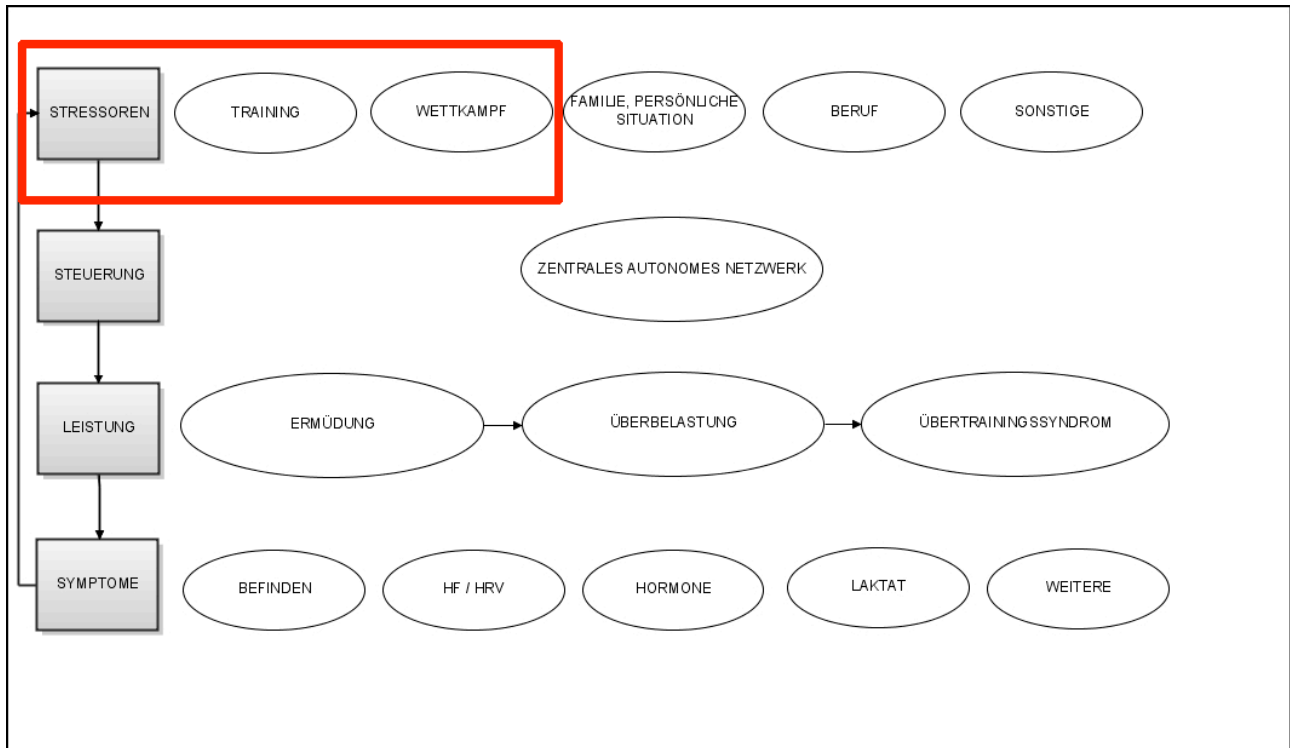


Abb. 16: Training und Wettkampf als wirkende Stressoren

In den nachstehenden Kapiteln erfolgt die Beschreibung der während der unterschiedlichen Messphasen (Normwertbestimmung, Deutschlandlauf, Regeneration) auf die Sportler wirkenden Belastungsfaktoren anhand der Parameter Belastungsumfang und Anstrengungsempfinden. Aus diesen wurde nach dem in Kapitel 4.6.1 beschriebenen Verfahren von Foster (1998) ein Belastungsindex errechnet und die prozentuale Steigerung der Belastungsanforderungen während des Deutschlandlaufs im Vergleich zur Normwertbestimmung der Teilnehmer berechnet.

#### 5.2.1.1 TN1

##### Normwertbestimmung

Sämtliche Lafeinheiten während der Normwertbestimmung wurden mit der Dauermethode durchgeführt, Einheiten in Form von Intervalltraining fanden nicht statt.

In der ersten Woche trainierte TN1 14,4 Stunden und lief dabei 153,9 km. Zusätzlich zum Lauftraining fuhr der Teilnehmer drei Mal pro Woche 70 Minuten (gesamt 3,5 Stunden) mit dem Fahrrad zur Arbeitsstelle und zurück. Der für diese Woche auf das Lauftraining bezogene durchschnittliche Borg-Wert der Trainingstage liegt bei 11,8, dies lässt auf eine niedrige Intensität schließen (nach Borg: „locker“). Die Trainingsdaten der ersten Woche der Normwertbestimmung in Bezug auf die zurückgelegte Distanz beim Lauftraining und den zeitlichen Gesamtbelastungsumfang inklusive Radtraining bewegen sich zwar leicht über dem auf das ganze Jahr bezogenen

wöchentlichen Durchschnittswert, die geringe Intensität und nur geringfügige Überschreitung des Belastungsumfangs lassen es trotzdem zu, von einer für den Sportler normaltypischen Trainingswoche zu sprechen, zumal keine zusätzlich belastenden Wettkämpfe stattfanden.

Der für diese Woche errechnete und auf das Lauftraining bezogene Belastungsindex beträgt 10624, was einem durchschnittlichen täglichen Belastungsindex von 1518 entspricht.

Die zweite Woche beinhaltet 168,2 km Lauftraining bei einem Gesamttrainingsumfang von 18,2 Stunden plus 3,5 Stunden Radfahren zur Arbeitsstelle und zurück. Der durchschnittliche Borg-Wert bezogen auf das Lauftraining für die zweite Woche beträgt 11,3, die Intensität ist als gering einzustufen. Auch in Woche 2 fanden keine Wettkämpfe statt und diese kann daher als noch normaltypische Trainingswoche gewertet werden. Der auf das Lauftraining bezogene Belastungsindex dieser Woche beträgt 13428, der tägliche Belastungsindex 1918.

In der dritten Woche der Normwertbestimmung lief der Teilnehmer 138,9 km bei einem Gesamttrainingsumfang von 12,7 Stunden und fuhr zusätzlich 2,3 Stunden Rad. Der durchschnittliche Borg-Wert für diese Woche, wiederum auf das Lauftraining bezogen, beträgt 12 (zwischen „locker“ und „ein wenig hart“), der Gesamtbelastungsumfang liegt knapp unter dem angegebenen Jahresdurchschnitt. Der Belastungsindex von 8854 entspricht einem mittleren täglichen Belastungsindex von 1265.

Die Tagesumfänge an den drei übrigen Messtagen umfassen 2,6 Stunden Lauftraining über 21,1 km bei einem Borg-Wert von 8 (22.6.08), 1,9 Stunden Lauftraining über 20,2 km (Borg-Wert 11) plus 70 Minuten Radfahren (15.7.08) sowie 1,8 Stunden Lauftraining über 20,39 km plus 70 Minuten Radfahren bei einem auf das Lauftraining bezogenen Borg-Wert von 11 (16.7.08).

Der durchschnittliche auf das Lauftraining bezogene tägliche Belastungsindex dieser drei Tage beträgt 1224, sodass sich auf die gesamte Phase der Normwertbestimmung unter Berücksichtigung der Ruhetage und ausgenommen des Radtrainings ein mittlerer täglicher Belastungsindex von 1463 ermitteln lässt. Der durchschnittliche tagesbezogene Belastungsumfang dieser Messphase liegt bei 21 km bzw. 2,1 Stunden bei einem Ruhetag pro Woche.

### *Deutschlandlauf*

TN1 absolvierte den kompletten Deutschlandlauf und legte an 17 aufeinanderfolgenden Tagen 1203 Laufkilometer zurück – in der ersten Wettkampfwoche 534 km, in der zweiten Woche 500 km und an den letzten drei Wettkampftagen zusammen 169 km. Dies entspricht einem Tagesdurchschnitt von 70,8 km. Insgesamt bedeutet dies eine Steigerung der täglichen Laufkilometer um 237 % bezogen auf den Belastungsumfang der Normwertbestimmung. Der für den Deutschlandlauf ermittelte durchschnittliche tägliche Belastungsindex beträgt 6506, was einer Steigerung im Vergleich zum täglichen Belastungsindex während der Normwertbestimmung um 345 % gleichkommt.

### *Regeneration*

In der ersten Woche nach Beendigung des Deutschlandlaufs trainierte der Teilnehmer 74,8 km bzw. 7,8 Stunden (durchschnittlicher Borg-Wert: 9,8), bei einem wöchentlichen Belastungsindex von 4536. Belastungsumfang und Belastungsintensität lagen deutlich unter dem Jahresdurchschnitt, jedoch beinhaltete diese Woche nur einen einzigen Ruhetag, an dem der Teilnehmer nicht lief (26.9.08).

In der zweiten Woche wurde das Training deutlich reduziert, zudem erfolgte ein Milieuwechsel (Urlaub in der näheren Umgebung) mit mehreren freien Tagen. Der Belastungsumfang entspricht 32,1 km bzw. 2,7 Stunden (durchschnittlicher Borg-Wert: 10) bei einem wöchentlichen Belastungsindex von 1610.

In Woche 3 trainierte der Teilnehmer 9,7 Stunden und lief 104 km bei einem durchschnittlichen Borg-Wert von 11,2, entsprechend einem wöchentlichen Belastungsindex von 6829.

Der für die Regenerationsphase durchschnittliche tägliche Belastungsumfang beträgt 0,98 Stunden und 10 km, der mittlere tägliche Belastungsindex 618. Dies entspricht im Vergleich zur Normwertbestimmung einer Reduzierung des Trainings um 52 % (bezogen auf die zurückgelegten Laufkilometer), 53 % (bezogen auf die Belastungsdauer) bzw. 58 % (bezogen auf den Belastungsindex).

#### 5.2.1.2 TN2

##### *Normwertbestimmung*

TN2 führte sämtliche Lafeinheiten während der Normwertbestimmung mit der Dauermethode durch, Einheiten in Form von Intervalltraining fanden nicht statt.

In der ersten Woche trainierte der Teilnehmer 9,3 Stunden und lief in dieser Zeit 94 km. Der auf das Lauftraining bezogene durchschnittliche Borg-Wert liegt bei 11,6, dies lässt auf eine niedrige Intensität schließen (nach Borg: „locker“). Die Trainingsdaten für diese Woche entsprechen einem für diesen Teilnehmer normaltypischen Belastungsumfang. Der wöchentliche Belastungsindex beträgt 6540, der tägliche Belastungsindex 934. Es fanden zu dieser Zeit keine Wettkämpfe statt.

Die zweite Woche der Normwertbestimmung beinhaltete 186 km Lauftraining bei einem Gesamtbelastungsumfang von 18,8 Stunden. Der durchschnittliche Borg-Wert für diese Woche beträgt 11,2, die Intensität ist also als gering einzustufen. Der wöchentliche Belastungsindex liegt bei 12610, der tägliche Belastungsindex bei 1801. Auch in Woche 2 fanden keine Wettkämpfe statt.

Der Belastungsumfang der zweiten Trainingswoche überschreitet die auf den Jahresdurchschnitt bezogene und im Vorabfragebogen angegebene durchschnittliche wöchentliche Laufleistung um über 100 %, es kann somit nicht mehr von einer für den Teilnehmer durchschnittlichen Trainingsbelastung ausgegangen werden. Die in Woche 2 ermittelten Werte lassen zunächst die Vermutung zu, dass sie aufgrund des hohen Belastungsumfangs von TN2 die Normwerte verfälschen könnten. Dies ließ sich anhand der Befindlichkeitswerte jedoch nicht bestätigen, die Parameter der Herzfrequenzvariabilität und die Ruheherzfrequenz wurden erst ab der dritten Messwoche ermittelt.

In der dritten Woche lief der Teilnehmer 75 km bei einem Gesamttrainingsumfang von 7,3 Stunden. Der durchschnittliche Borg-Wert beträgt 11,2 (nach Borg: „locker“), der wöchentliche Belastungsindex 4860 sowie der tägliche Belastungsindex 694.

Der Gesamtbelastungsumfang in Woche drei liegt unter dem angegebenen wöchentlichen Jahresdurchschnitt. Das Training wurde während dieser Phase im Hinblick auf den anstehenden Wettkampf bewusst reduziert.

Die Tagesumfänge an den drei übrigen Messtagen betragen 1 Stunde Lauftraining über 10 km bei einem Borg-Wert von 11 (4.9.08), 1 Stunde Lauftraining über 10 km bei einem Borg-Wert von 11 (5.9.08) sowie 30 Minuten Lauftraining über 5 km bei einem Borg-Wert von 11 (6.9.08).



Der durchschnittliche tägliche Belastungsindex dieser drei Tage liegt bei 413, sodass sich auf die gesamte Phase der Normwertbestimmung unter Berücksichtigung der Ruhetage ein mittlerer täglicher Belastungsindex von 987 ermitteln lässt.

Der durchschnittliche tagesbezogene Belastungsumfang der gesamten Normwertbestimmung beträgt 14,6 km bzw. 1,5 Stunden bei mindestens einem trainingsfreien Tag pro Woche. Bezogen auf die einzelnen Trainingswochen ergibt sich ein Tagesdurchschnitt von 1,3 Stunden bzw. 13,4 km für die erste Woche, 2,7 Stunden bzw. 26,6 km für die zweite Woche sowie 1 Stunde bzw. 10,7 km für die dritte Woche.

Insgesamt lassen die Trainingsdaten des Teilnehmers – mit Ausnahme der zweiten Trainingswoche – zu, von einem für ihn normaltypischen Trainings- und Belastungsumfang zu sprechen. Die geringen Borg-Werte lassen darauf schließen, dass keine Überbelastung vorlag. Die gewonnenen Daten eignen sich daher, um daraus ein individuelles Normwertprofil zu erstellen.

### *Deutschlandlauf*

TN2 absolvierte den Deutschlandlauf vom 8.9.08 bis 15.9.08. Er brach den Lauf während der achten Etappe bei Kilometer 57 aufgrund von Verletzungen (Zerrung im linken Oberschenkel, Schmerzen in beiden Achillessehnen, Knochenhautentzündung am rechten Schienbein) ab. Auf den acht Etappen legte der Teilnehmer 591 km zurück, was einem Tagesdurchschnitt von 74 km entspricht. Dies bedeutet eine Steigerung der täglichen Laufkilometer um 407 % im Vergleich zur Normwertbestimmung. Der für den Deutschlandlauf ermittelte tägliche Belastungsindex beträgt 7643 und liegt um damit um 674 % über dem Wert der ersten Messphase.

### *Regeneration*

In der Zeit vom 16.9.08 bis 24.9.08 trainierte der Teilnehmer aufgrund der während des Deutschlandlaufs aufgetretenen Verletzungen gar nicht. An den Tagen vom 25.9.08 bis 28.9.08 wurde locker trainiert, der Teilnehmer legte dabei zwischen 5 und 13 Kilometern täglich zurück. Nach einer Trainingspause am 29.9.08 erfolgte der letzte Laktattest am 30.9.08.

## 5.2.1.3 TN3

### *Normwertbestimmung*

Sämtliche Laufeinheiten während der Normwertbestimmung wurden mit der Dauermethode durchgeführt, Einheiten in Form von Intervalltraining fanden nicht statt.

In der ersten Woche trainierte der Teilnehmer 8 Stunden und lief in dieser Zeit 70,6 km. Der auf das Lauftraining bezogene durchschnittliche Borg-Wert liegt bei 15 (zwischen „hart“ und „ein wenig hart“), dies lässt auf eine mittlere bis submaximale Intensität schließen.

Der für diese Trainingswoche errechnete Belastungsindex beträgt 7198, entsprechend einem täglichen Belastungsindex von 1028.

Die Trainingsdaten der ersten Woche der Normwertbestimmung liegen im Bereich des Jahresdurchschnitts und es kann bezogen auf den Gesamtbelastungsumfang von einer für den Sportler normalen und typischen Trainingswoche ausgegangen werden.

Die zweite Woche der Normwertbestimmung beinhaltet lediglich drei Trainingstage, an denen der Sportler insgesamt 5 Stunden bzw. 41,7 km lief. Diese Trainingswoche repräsentiert einen

(bezogen auf den vorab angegebenen wöchentlichen Jahresdurchschnitt) unterdurchschnittlichen Belastungsumfang. Der durchschnittliche Borg-Wert für diese drei Trainingstage beträgt 13,3 („ein wenig hart“), der Belastungsindex dieser Woche 4142.

Unter Berücksichtigung der Tagesumfänge der übrigen beiden Messtage (19.7. und 20.7.08) errechnet sich für die gesamte Phase der Normwertbestimmung ein mittlerer täglicher Belastungsindex von 909, entsprechend einem tagesbezogenen mittleren Belastungsumfang von 8,8 km bzw. 1 Stunde.

Insgesamt lassen die Trainingsdaten des Teilnehmers zu, von einem für ihn durchschnittlichen (Woche 1) bzw. leicht unterdurchschnittlichen (Woche 2) Trainings- und Belastungsumfang zu sprechen. Grund für das geringere Training während der zweiten Messwoche war eine berufliche Mehrbeanspruchung, die zudem mit einer Reisetätigkeit verbunden war. Reisetätigkeiten und das Arbeiten an unterschiedlichen Orten stellen für diesen Sportler Normalität dar, sodass es keine andere Möglichkeit gab, als die Daten während eines auswärtigen Arbeitseinsatzes zu erheben.

#### *Deutschlandlauf*

TN3 brach den Deutschlandlauf am dritten Wettkampftag nach 37 zurückgelegten Laufkilometern aufgrund von Erschöpfung ab. Während der drei Wettkampftage legte der Sportler 186 km zurück, entsprechend einem Tagesdurchschnitt von 62 km und damit – bezogen auf die Normwertbestimmung – einer Steigerung des Belastungsumfangs um 605 %.

Der auf den Deutschlandlauf bezogene tägliche Belastungsindex beträgt 8709 und ist damit 858 % höher als während der Normwertbestimmung.

#### *Regeneration*

In der ersten Woche nach Beendigung des Deutschlandlaufs legte der Teilnehmer 17 km in 1,9 Stunden zurück. Zusätzlich wurde eine Krafttrainingseinheit durchgeführt. Der Belastungsumfang liegt somit deutlich unter dem Jahresdurchschnitt, der tägliche Belastungsindex bezogen auf das Lauftraining bei 213.

In der zweiten Woche trainierte TN3 6,5 Stunden bzw. 57 Kilometer und absolvierte eine Krafttrainingseinheit, der tägliche Belastungsindex liegt bei 887. Der durchschnittliche Borg-Wert für beide Wochen beträgt 13,4.

Insgesamt entspricht dies im Vergleich zum Belastungsumfang des Teilnehmers während der Normwertbestimmung einer Reduzierung des Trainings um 35 % (bezogen auf die zurückgelegten Laufkilometer), 36 % (bezogen auf die Belastungsdauer) bzw. 39 % (bezogen auf den Belastungsindex).

#### 5.2.1.4 TN4

##### *Normwertbestimmung*

Alle Lafeinheiten während der ersten Messphase wurden mit der Dauermethode durchgeführt, Intervalltrainingseinheiten fanden nicht statt. Zusätzlich zum Lauftraining führte der Teilnehmer ein- bis zweistündige Wanderungen durch, die das Training ergänzten oder ersetzten.

In der ersten Woche trainierte TN4 14,75 Stunden und lief in dieser Zeit 133,5 km. Zusätzlich wanderte der Teilnehmer während dieser Woche drei Stunden bzw. 18 km. Der für diese Woche

auf das Lauftraining bezogene durchschnittliche Borg-Wert pro Trainingstag erreicht 10,1 (nach Borg zwischen „locker“ und „sehr locker“). Die Trainingsdaten für diese Woche liegen unter dem auf das ganze Jahr bezogenen wöchentlichen Durchschnittswert von 18 Stunden bzw. 180 Kilometern, die Intensität ist zudem als sehr gering einzuschätzen, was unter anderem dem hohen Anteil an Wanderungen geschuldet ist.

Somit ergibt sich für die vorliegende Trainingswoche ein Tagesdurchschnitt von 2,12 Stunden bzw. 19 km, ohne dass ein Ruhetag eingelegt wurde. Der wöchentliche Belastungsindex beträgt 8900, dies entspricht einem täglichen Belastungsindex von 1271.

Ab dem 2.9.08 wurde kein Training mehr durchgeführt.

Insgesamt lassen die Trainingsdaten des Teilnehmers zu, von einem für ihn normaltypischen bzw. leicht unterdurchschnittlichen Trainings- und Belastungsumfang zu sprechen, mit der Einschränkung einer für ihn sehr geringen Intensität. Auch während der Vorwochen waren der Gesamtbelastungsumfang sowie die Belastungsintensität aufgrund von Verletzungsproblemen gering.

#### *Deutschlandlauf*

TN4 absolvierte den Deutschlandlauf vom 8.9.08 bis zum 15.9.08. Zu Beginn der achten Etappe brach er den Lauf verletzungsbedingt ab (Sehnenscheidenentzündung am rechten Fuß bis zur vierten Etappe; Knochenhautentzündung am linken Fuß ab der fünften Etappe, diese führte zur Aufgabe am achten Tag). Er legte an sieben aufeinanderfolgenden Tagen 533,9 Laufkilometer zurück. Dies entspricht einem Tagesdurchschnitt von 76,3 km. Insgesamt bedeutet dies eine Steigerung der täglichen Laufkilometer um 302 % bezogen auf den Belastungsumfang während der Normwertbestimmung.

Der für den Deutschlandlauf ermittelte durchschnittliche tägliche Belastungsindex beträgt 9954 und ist gegenüber dem Wert während der Normwertbestimmung um 683 % erhöht.

#### *Regeneration*

Während der Regenerationsphase vom 16.9.08 – 30.9.08 fand aufgrund der Verletzungen des Teilnehmers kein sportliches Training statt.

### 5.2.1.5 TN5

#### *Normwertbestimmung*

Sämtliche Lafeinheiten während des für die Normwertbestimmung ausgewählten Zeitfensters wurden mit der Dauermethode durchgeführt, Einheiten in Form von Intervalltraining fanden nicht statt.

In der ersten Woche fanden lediglich zwei Trainingseinheiten statt. Der Belastungsumfang für diese Woche beträgt 6,83 Stunden bzw. 64 km und liegt damit geringfügig unterhalb des auf das ganze Jahr bezogenen wöchentlichen Trainingsdurchschnitts des Teilnehmers. Der für diese Woche auf das Lauftraining bezogene durchschnittliche Borg-Wert erreicht den Wert 11, dies lässt auf eine niedrige Intensität schließen (nach Borg: „locker“). Der Belastungsindex der gesamten Woche beträgt 4510, entsprechend einem täglichen Belastungsindex von 644.

Die zweite Woche beinhaltet 64,5 km Lauftraining bei einem Gesamttrainingsumfang von 6,5 Stunden. Der durchschnittliche Borg-Wert bezogen auf das Lauftraining für die zweite Woche

beträgt 11,7, die Intensität ist als gering einzustufen. Der wöchentliche Belastungsindex von 4658 entspricht einem täglichen Belastungsindex von 665. Während der ausgewählten Trainingswochen fanden keine zusätzlich belastenden Wettkämpfe statt und der Sportler war beschwerdefrei. Das Vorliegen einer Überbelastung aufgrund vorangegangener intensiver Trainingsbelastungen kann daher nahezu ausgeschlossen werden.

Es ergibt sich zusammenfassend für beide Wochen der Normwertbestimmung ein täglicher Belastungsindex von 655, dies entspricht einem durchschnittlichen täglichen Belastungsumfang von 0,9 Stunden bzw. 9,2 Kilometern.

Insgesamt lassen die Trainingsdaten des Teilnehmers zu, von einem für ihn normaltypischen bzw. leicht unterdurchschnittlichen Trainings- und Belastungsumfang zu sprechen. Die geringen Borg-Werte lassen darauf schließen, dass der gewählte Belastungsumfang und die Belastungsintensität für den Sportler keine allzu große Anstrengung darstellte. Die gewonnenen Daten lassen sich somit gut zu einem individuellen Normwertprofil zusammenfassen.

#### *Deutschlandlauf*

TN5 absolvierte den kompletten Deutschlandlauf und legte an 17 aufeinanderfolgenden Tagen 1203 Laufkilometer zurück – in der ersten Wettkampfwoche 534 km, in Woche 2 dann 500 km und an den letzten drei Wettkampftagen zusammen 169 Kilometer. Dies entspricht einem Tagesdurchschnitt von 70,8 km, was einer Steigerung der täglichen Laufkilometer um 670 % bezogen auf das Trainingspensum des Teilnehmers während der Normwertbestimmung gleichkommt. Der für den Deutschlandlauf ermittelte tägliche Belastungsindex beträgt 9806, dies entspricht einer Steigerung um fast 1400 % gegenüber den Werten der Normwertbestimmung.

#### *Regeneration*

Während der Regenerationsphase wurde aufgrund der am letzten Etappentag erlittenen Verletzung kein Training durchgeführt.

### 5.2.1.6 TN6

#### *Normwertbestimmung*

Sämtliche Lafeinheiten wurden mit der Dauermethode durchgeführt, Einheiten in Form von Intervalltraining fanden nicht statt.

In der ersten Woche trainierte TN6 9,7 Stunden und lief dabei 96 km. Der für diese Woche auf das Lauftraining bezogene durchschnittliche Borg-Wert liegt bei 12,4, was auf eine niedrige Intensität schließen lässt. Es fand ein Wettkampf über 10 Kilometer statt (19.7.), mit dessen Resultat der Teilnehmer sehr zufrieden war (90 %). Befindlichkeit und Motivation vor dem Wettkampf waren sehr hoch (80 % bzw. 90 %), das Anstrengungsempfinden betrug 16 (zwischen „hart“ und „sehr hart“). Am darauffolgenden Tag absolvierte TN6 einen 45km-Lauf über 5 Stunden (Anstrengung 15, „hart“).

Trotz der Belastungsspitze am Ende der ersten Messwoche liegt der Gesamtbelastungsumfang unterhalb des auf das ganze Jahr bezogenen wöchentlichen Durchschnitts. Es ist daher von einer für den Sportler normalen und typischen Trainingswoche zu sprechen.

Der für diese Woche errechnete und auf das Lauftraining bezogene Belastungsindex beträgt 7752, was einem durchschnittlichen täglichen Belastungsindex von 1107 entspricht.

Die zweite Woche der Normwertbestimmung beinhaltet 180 km Lauftraining bei einem Gesamttrainingsumfang von 19,8 Stunden. Der durchschnittliche Borg-Wert bezogen auf das Lauftraining für die zweite Woche beträgt 12,25, die Intensität ist als gering einzustufen. Während Woche zwei fanden keine Wettkämpfe statt, gegen Ende der Woche wurden zwei extrem umfangreiche Trainingseinheiten über 70 km (26.7.08) bzw. 55 km (27.7.08) durchgeführt. Trotz des hohen Belastungsumfangs kann diese Trainingswoche als für den Teilnehmer noch normale Trainingswoche gewertet werden. Der auf das Lauftraining bezogene Belastungsindex dieser Woche beträgt 14955, der tägliche Belastungsindex 2136.

Für die gesamte Phase der Normwertbestimmung ergibt sich somit ein täglicher Belastungsindex von 1622, entsprechend einem täglichen Belastungsumfang von 19,7 km bzw. 2,1 Stunden.

### *Deutschlandlauf*

TN6 brach den Deutschlandlauf nach acht vollständig absolvierten Tagesetappen ab. Er legte an diesen acht aufeinanderfolgenden Wettkampftagen 613,2 Laufkilometer zurück – entsprechend einem mittleren täglichen Belastungsumfang von 76,6 km. Dies kommt einer Steigerung der täglichen Laufkilometer um 289 % bezogen auf das Trainingspensum von TN6 während der Normwertbestimmung gleich. Der durchschnittliche tägliche Belastungsindex konnte aufgrund nicht bearbeiteter Wettkampfprotokolle des Teilnehmers nicht ermittelt werden.

### *Regeneration*

TN6 führte während der Regenerationsphase keinerlei sportliches Training durch.

## 5.2.1.7 Zusammenfassung und Diskussion

Es besteht bei Extremsportlern wie den Teilnehmern des Deutschlandlaufs 2008 die Gefahr, dass sehr hohe Belastungsumfänge vorangegangener Trainingsphasen Nachwirkungen zeigen und die während der Normwertbestimmung dokumentierten Werte der Befindlichkeit, Ruheherzfrequenz und Herzfrequenzvariabilität nachhaltig beeinträchtigen könnten. Auch bei freier Wahl der Zeitfenster für diese Messphase ist dies nicht völlig auszuschließen, da sich die Sportler langfristig auf den Wettkampf vorbereiten und dementsprechend extrem umfangreiche Belastungsphasen in ihr Trainingsprogramm aufnehmen. Dass die untersuchten Sportler also bereits während der Normwertbestimmung aufgrund ihres Trainingsumfangs ermüdet oder überbelastet waren, ist grundsätzlich nicht vollkommen auszuschließen.

Dennoch zeigt die Analyse der Belastungsparameter während der Normwertbestimmung, dass die meisten Teilnehmer einen im Vergleich zu ihrem angegebenen normalen Trainingspensum durchschnittlichen bis unterdurchschnittlichen Belastungsumfang wählten.

Die während der Normwertbestimmung ermittelten äußeren Belastungsparameter von TN1 und TN6, die mit geringen mittleren Borg-Werten einhergingen, entsprechen einem für diese Sportler normaltypischen Trainingspensum. Für zwei von drei Wochen der Normwertbestimmung trifft dies auch für TN2 zu. Dessen zweite Trainingswoche überstieg den normaltypischen Belastungsumfang entgegen der mit den Teilnehmern abgesprochenen Vereinbarung jedoch deutlich. Die

während dieser Woche erfassten Werte für die Befindlichkeit des Teilnehmers zeigten allerdings keine auffälligen Unterschiede zu den restlichen Messtagen, sodass die Daten entsprechend berücksichtigt werden konnten.

TN2 verzeichnete einen bemerkenswert hohen Belastungsumfang während der Wochen vor Beginn der Studie. Vom 6.7.08 bis 12.7.08 nahm er am Swiss Jura Marathon über eine Distanz von insgesamt 350 km teil. Es ist daher nicht auszuschließen, dass die während der Normwertbestimmung dokumentierten Werte der untersuchten Parameter sowie die Ergebnisse der Leistungsdiagnostik bereits zu diesem Zeitpunkt eine Beeinträchtigung aufgrund des hohen vorangegangenen Belastungsumfanges aufwiesen. Belastungsphasen mit einem längerfristig geringeren Trainingspensum hätten bei diesem Sportler möglicherweise zu einem anderen Normwertprofil geführt. Jedoch lag der Belastungsumfang zum Zeitpunkt der Messungen der Parameter der Herzfrequenzvariabilität und der Ruheherzfrequenz, die erst in der zweiten Messphase vom 27.8. bis zum 6.9.08 ermittelt wurden, deutlich unterhalb des wöchentlichen Jahresdurchschnitts des Sportlers.

Die Belastungsumfänge von TN3 und TN5 während der Normwertbestimmung repräsentieren einen für diese Sportler normaltypischen bis leicht unterdurchschnittlichen Trainingsumfang. Allerdings kam es bei TN3 zu einer beruflichen Mehrbelastung. Der Teilnehmer arbeitete im Verlauf der ersten Messphase mehr als üblich, in einer ihm fremden Umgebung und getrennt von seiner Familie. Er gab an, dass das Leben im Hotel, schlechter und unzureichender Schlaf sowie eine nicht optimale Ernährung dazu geführt hätten, dass er sein ursprünglich geplantes Trainingspensum reduzieren musste. Der Sportler vermerkte zudem, dass er häufig unter Schlafstörungen und gedrückter Stimmung leide, und äußerte die Vermutung, dass eine Datenerhebung im familiären Umfeld zu leicht verbesserten Ergebnissen in Bezug auf die Befindlichkeit geführt hätte. Es kann demnach argumentiert werden, dass die Messbedingungen während der Normwertbestimmung aufgrund der beruflichen Belastung als schwierig zu bewerten sind. Da Reise-tätigkeiten jedoch eine normale Arbeitssituation des Teilnehmers darstellen, gab es keine Möglichkeit, ein geeigneteres Zeitfenster für die erste Messphase auszuwählen.

Zu berücksichtigen ist in diesem Zusammenhang, dass der Deutschlandlauf eben auch nicht in vertrauter Umgebung stattfand und äußere Stressoren ebenso wie schlechter Schlaf und eine nicht optimale Ernährung in gleicher Art und Weise als zusätzliche Belastungsfaktoren anzusehen sind. Einen niedrigen Belastungsumfang während der Normwertbestimmung verzeichnete TN4, der sein Trainingspensum aufgrund von Verletzungsproblemen reduzierte und während der ersten Woche mit einer sehr geringen Intensität und während der zweiten Woche gar nicht trainierte. Die Immanenz einer möglichen Ermüdung oder Überbelastung ist aufgrund eines geringen Trainingsumfangs des Teilnehmers auch in den Vormonaten des Wettkampfes nahezu auszuschließen.

TN5 führte die Normwertbestimmung aufgrund einer Teilnahme an einem 24-Stunden-Lauf (5./6. Juli 2008) in zwei Messphasen durch. Die ermittelten Ergebnisse der Messparameter zeigen keine relevanten Unterschiede bezogen auf die zwei Messwochen, sodass Auswirkungen des durchgeführten 24-Stunden-Laufs unwahrscheinlich sind.

In Tabelle 22 sind die mittleren täglichen Belastungsumfänge sowie die mittleren täglichen Belastungsindizes während der unterschiedlichen Messzeiträume für alle Teilnehmer zusammen-

fassend dargestellt. TN2, TN4, TN5 und TN6 verzichteten verletzungsbedingt während der Regenerationsphase nahezu vollständig auf sportliches Training.

Tab. 22: Belastungsparameter der Teilnehmer während der unterschiedlichen Messzeiträume.

	mittlerer täglicher Belastungsumfang	mittlerer täglicher Belastungsindex
<b>TN1</b>		
Normwertbestimmung	21 km	1463
Deutschlandlauf	70,8 km (+237 %)	6506 (+345 %)
Regenerationsphase	10 km	618
<b>TN2</b>		
Normwertbestimmung	14,6 km	987
Deutschlandlauf	74 km (+407 %)	7643 (+674 %)
Regenerationsphase	2,7 km	11
<b>TN3</b>		
Normwertbestimmung	8,8 km	909
Deutschlandlauf	62 km (+605 %)	8709 (+858 %)
Regenerationsphase	5,7 km	550
<b>TN4</b>		
Normwertbestimmung	19 km (25.8. – 31.8.)	1271
Deutschlandlauf	76,3 km (+302 %)	9954 (+683 %)
Regenerationsphase	-	-
<b>TN5</b>		
Normwertbestimmung	9,2 km	655
Deutschlandlauf	70,8 km (+670 %)	9806 (+1400 %)
Regenerationsphase	-	-
<b>TN6</b>		
Normwertbestimmung	19,7 km	1622
Deutschlandlauf	76,6 km (+289 %)	-
Regenerationsphase	-	-

### 5.2.2 Leistung

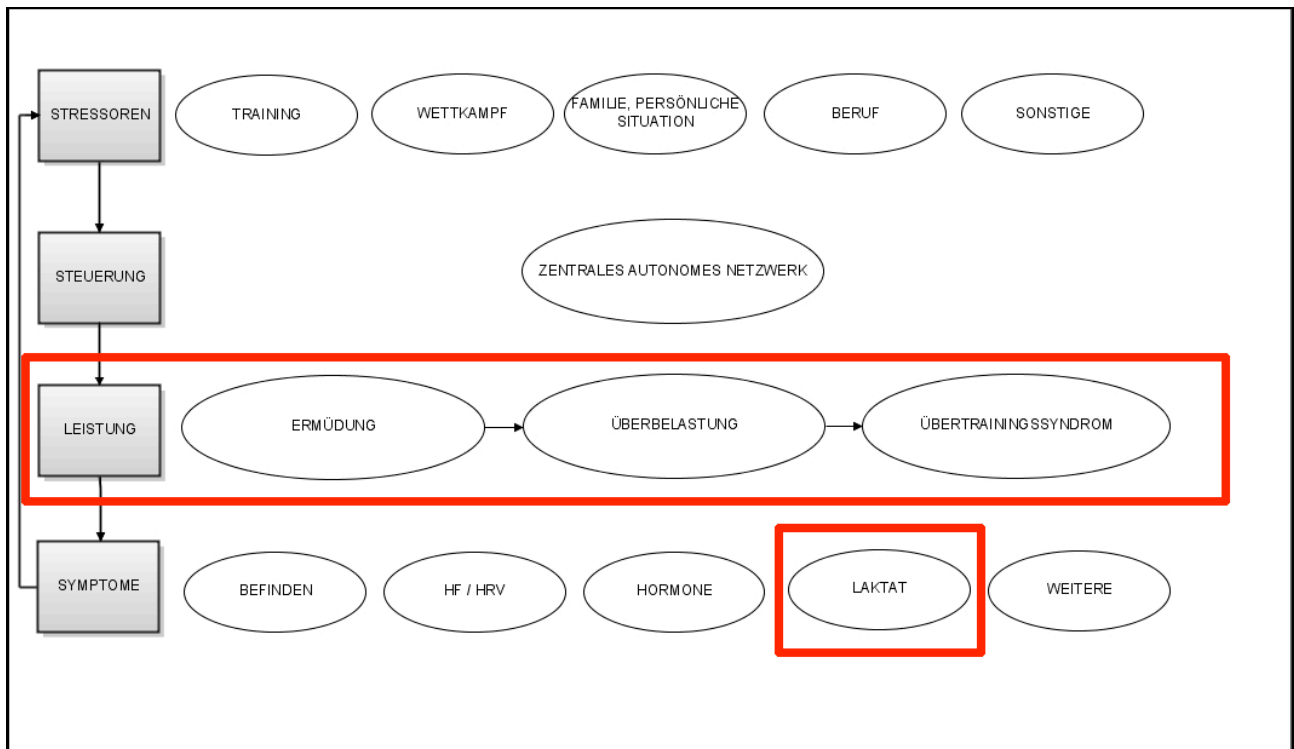


Abb. 17: Einfluss der unterschiedlichen Belastungsphasen auf die sportliche Leistungsfähigkeit

Als Leistungsparameter wurden die von den Teilnehmern bei den Stufentests erreichten maximalen Laufgeschwindigkeiten, die auf den einzelnen Tagesetappen des Deutschlandlaufs erzielten Durchschnittsgeschwindigkeiten zusammen mit dem jeweiligen Anstrengungsempfinden sowie die Zufriedenheit der Teilnehmer mit den einzelnen Wettkampfergebnissen herangezogen. Vervollständigt wurden die vorliegenden Daten mit Angaben der Teilnehmer über die Motivation und das körperliche Befinden am Morgen der einzelnen Wettkampftage.

#### 5.2.2.1 TN1

##### Normwertbestimmung

Am 14.7.08 wurde der erste Laktatleistungstest nach den in Kapitel 4.6.4 beschriebenen Kriterien an der medizinischen Universitätsklinik Stuttgart durchgeführt. TN1 erreichte dabei Stufe 4, die komplett abgeschlossen wurde. Dies entspricht einer Maximalleistung von 15,4 km/h. Die Laufleistung an der 4 mmol/l Laktatschwelle betrug 14,2 km/h, die maximale Herzfrequenz am Ende der letzten Stufe 159 Schläge pro Minute – nach persönlichen Angaben des Teilnehmers liegt dessen maximale Herzfrequenz üblicherweise bei 173 Schlägen pro Minute. Der maximale Laktatwert unmittelbar nach Abbruch der letzten Belastungsstufe lag bei 6,1 mmol/l.

Tabelle 23 zeigt die Ergebnisse des Stufentests.



Tab. 23: Ergebnisse der Leistungsdiagnostik während der Normwertbestimmung TN1.

Stufe	Dauer Min	Leistung km/h	Laktat mmol/l	HF S/min.
Ruhe	0	0	0,7	58
1	3	10	1,7	117
2	3	11,8	1,8	135
3	3	13,6	2,9	147
4	3	15,4	6,1	159

Bei einem angegebenen Borg-Wert von 17 (sehr hart) ist eine annähernd maximale Ausbelastung des Sportlers anzunehmen. Dieser gab an, durch das ungewohnt schnelle Laufen auf dem Laufband Angst vor einer möglichen Verletzung verspürt zu haben.

Hohe Werte für die körperliche Befindlichkeit (70 %) und Motivation (80 %) unmittelbar vor dem Test dokumentieren die Bereitschaft des Teilnehmers, sich maximal anzustrengen. Innerhalb der letzten 48 Stunden vor dem Test trainierte TN1 länger als zwei Stunden (12.7.08) und führte in den Wochen vor dem Test eine moderate Diät durch.

Eine Reduktion der maximalen Herzfrequenz um mindestens 10 Schläge pro Minute am Ende der letzten Belastungsstufe sowie eine Verringerung der maximalen Laktatwerte um mehr als 1,2 mmol/l (20 %) und eine Leistungsminderung um 1,5 km/h (10 %) werden als Diagnoseparameter für eine Überbelastung vordefiniert. Bei mindestens gleich hohem Belastungsumfang könnten diese, falls keine Verletzung, Krankheit oder sonstige körperliche Beeinträchtigungen diagnostiziert werden, eine Überbelastung anzeigen.

#### *Deutschlandlauf*

Die erreichten Laufgeschwindigkeiten derjenigen Teilnehmer, die die einzelnen Tagesetappen erfolgreich beendeten, zeigen eine gegenläufige Tendenz zu den jeweiligen Etappendistanzen. Auf einem deutlich höheren Niveau trifft dies auch für TN1 zu, der den Deutschlandlauf als fünft-bester Läufer beendete.

Die Verläufe der durchschnittlichen Laufgeschwindigkeiten von TN1 und aller erfolgreichen Läufer sowie die einzelnen Etappendistanzen des Deutschlandlaufs sind in Abbildung 18 dargestellt.

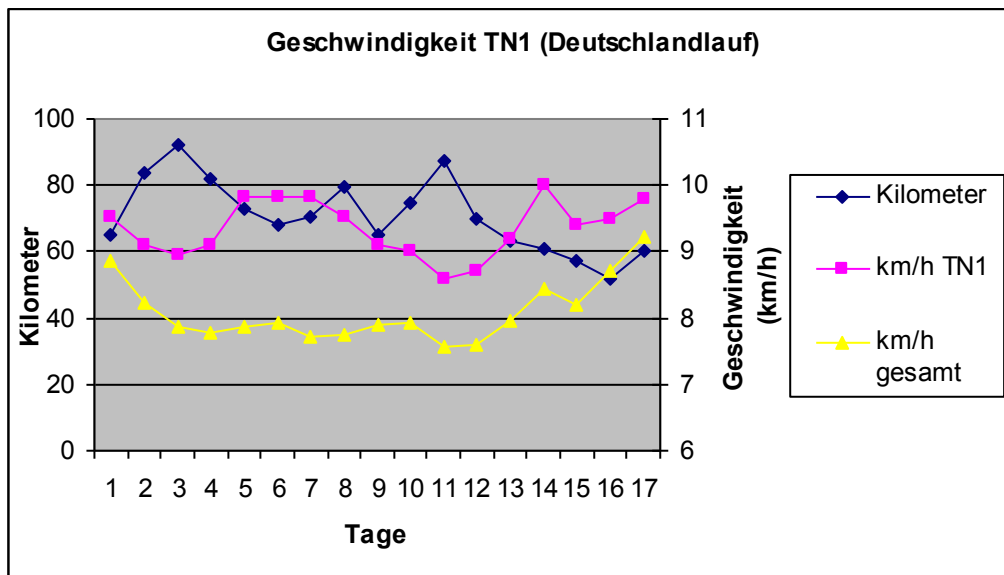


Abb. 18: Verlauf der Wettkampfgeschwindigkeit von TN1

Lediglich vier Etappen überschritten ein Anstrengungsempfinden von 15 (nach Borg „hart“), nämlich die Etappen 8 bis 11 (Borg-Wert 17, „sehr hart“). Am elften. Wettkampftag wurde die längste Etappe des Laufes über 87,5 Kilometer absolviert. Im Anschluss daran sanken die Borg-Werte von TN1 wieder auf 15 (12. Tag) bzw. 13 („ein wenig hart“: 13. bis 15. Tag) und 11 („locker“: 16., 17. Tag), parallel dazu nahm auch die Geschwindigkeit wieder zu.

Insgesamt beurteilte der Teilnehmer den Anstrengungsgrad des 17-tägigen Ultramarathons als „locker und leicht“, an keinem der Etappentage verspürte er subjektiv einen Leistungseinbruch.

Abbildung 19 zeigt den Verlauf des Anstrengungsempfindens von TN1 während des Deutschlandlaufs.

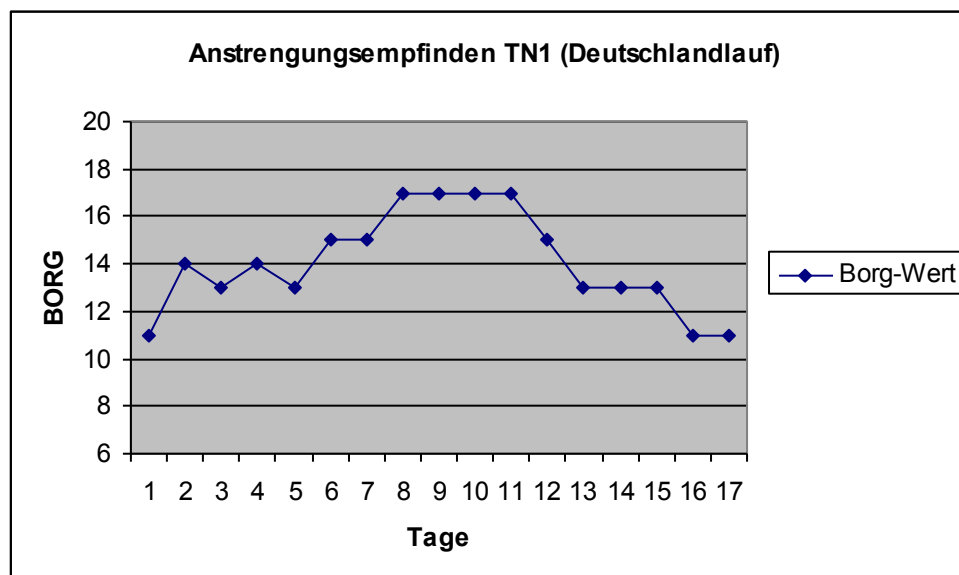


Abb. 19: Verlauf des Anstrengungsempfindens während des Deutschlandlaufs bei TN1

Im letzten Wettkampfdiagramm (Abbildung 20) dargestellt sind die körperliche Befindlichkeit und Motivation des Athleten am Morgen vor den einzelnen Tagesetappen sowie die Zufriedenheit mit dem Wettkampfergebnis nach den jeweiligen Etappen. Auffallend sind durchweg hohe und konstante Kennwerte der Messgrößen körperliches Befinden und Motivation sowie eine breitere Streuung beim Kennwert Zufriedenheit. Es sind zwei leichte Abstufungen am neunten und zehnten Wettkampftag auszumachen. An beiden Tagen erreichte auch das Anstrengungsempfinden Höchstwerte (17). Dennoch ist auch hier wieder ein deutliches Ansteigen der Wettkampfszufriedenheit an den folgenden Etappen des Deutschlandlaufs ersichtlich.

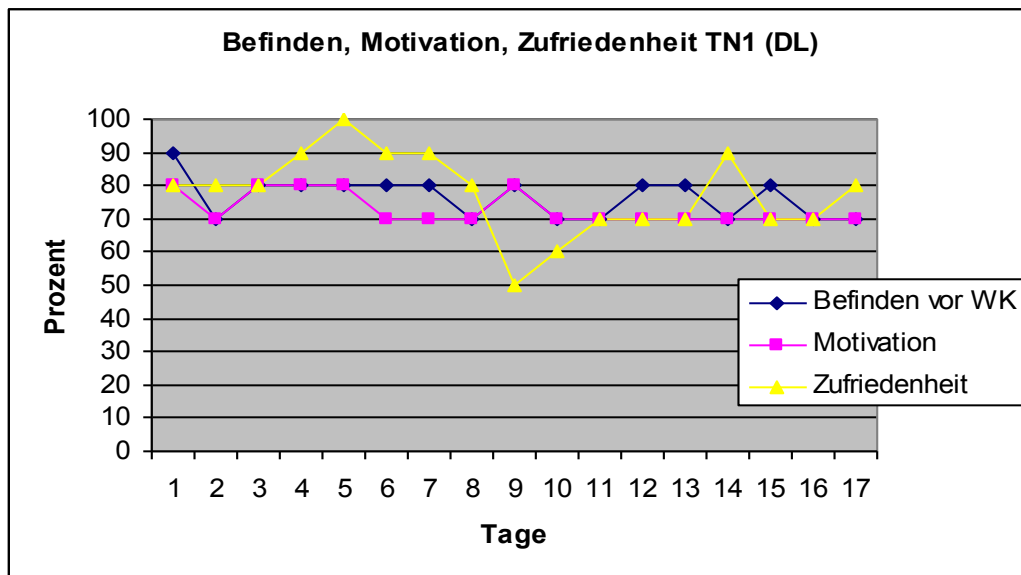


Abb. 20: Verlauf des körperlichen Befindens, der Motivation und der Wettkampfszufriedenheit von TN1

Der zweite Laktat-Leistungstest sollte innerhalb eines Zeitfensters von drei bis fünf Tagen nach Beendigung des Deutschlandlaufs durchgeführt werden. TN1 absolvierte den Test am 29.9.08 am Olympiastützpunkt in Stuttgart.

Der angegebene Wert für die Befindlichkeit vor Durchführung des Tests ist identisch mit dem des ersten Tests am 14.7.08 (70 %), die Motivation des Teilnehmers dagegen leicht reduziert (60 %). Wie beim ersten Test auch wurde in den vorangegangenen 48 Stunden noch länger als zwei Stunden trainiert, jedoch mit geringer Intensität.

Die beim zweiten Test erreichte Maximalleistung betrug 14,8 km/h, da die Stufe 4 (15,4 km/h) nach 2 Minuten abgebrochen wurde, die Laufleistung bei 4 mmol/l Laktat 13,5 km/h. Das Anstrengungsempfinden wurde mit 17 (sehr hart) eingeschätzt und entspricht dem Wert vom ersten Test. Die maximale Herzfrequenz bei Abbruch betrug 159 und ist ebenso identisch mit der maximalen Herzfrequenz bei Test 1, der maximale Laktatwert lag bei 6,8 mmol/l, war also, ebenso wie die submaximalen Laktatwerte, leicht erhöht.

Tabelle 24 fasst die Ergebnisse des Leistungstests zusammen.

Tab. 24: Ergebnisse der 2. Leistungsdiagnostik TN1.

Stufe	Dauer Min	Leistung km/h	Laktat mmol/l	HF S/min.
Ruhe	0	0	1,5	76
1	3	10	1,8	117
2	3	11,8	1,9	135
3	3	13,6	3,8	147
4	2	15,4	6,8	159

*Regeneration*

Die dritte Regenerationswoche schloss mit dem letzten Leistungstest am 16.10.08 ab. Die Werte für Befindlichkeit und Motivation zeigen sich im Vergleich zum zweiten Test leicht erhöht (80 %) und lassen auf die Bereitschaft des Teilnehmers schließen, sich maximal auszubelasten.

Die erreichte Maximalleistung betrug 15,4 km/h und ist damit identisch mit der Laufleistung bei Test 1 und im Vergleich zu Test 2 leicht verbessert. An der 4 mmol/l Laktatschwelle wurde eine Laufgeschwindigkeit von 12,8 km/h ermittelt. Das Anstrengungsempfinden wurde mit 14 (zwischen „hart“ und „ein wenig hart“) eingeschätzt und ist deutlich geringer als bei Test 1 bzw. 2 (jeweils 17). Die maximale Herzfrequenz bei Abbruch lag bei 165 Schlägen pro Minute, der maximale Laktatwert bei 10 mmol/l.

Im Vergleich zu den Vortests auffallend ist das niedrigere Anstrengungsempfinden in Kombination mit erhöhten submaximalen und maximalen Herzfrequenzwerten und deutlich erhöhten submaximalen und maximalen Laktatwerten.

Tab. 25: Ergebnisse der 3. Leistungsdiagnostik TN1.

Stufe	Dauer Min	Leistung km/h	Laktat mmol/l	HF S/min.
Ruhe	0	0	1,5	63
1	3	10	2,2	126
2	3	11,8	2,7	141
3	3	13,6	4,9	153
4	3	15,4	10	165

## 5.2.2.2 TN2

*Normwertbestimmung*

Am 8.8.08 wurde bei TN2 der erste Laktatleistungstest nach den in Kapitel 4.6.4 dargelegten Kriterien am Universitätsklinikum Freiburg durchgeführt. Der Teilnehmer erreichte dabei Stufe 5, die komplett abgeschlossen wurde. Dies entspricht einer Maximalleistung von 17,2 km/h. Die Laufleistung an der 4 mmol/l-Laktatschwelle betrug 15,8 km/h, die maximale Herzfrequenz am Ende der letzten Stufe 185 Schläge pro Minute, der maximale Laktatwert unmittelbar nach

Abbruch der letzten Belastungsstufe 6,3 mmol/l. Tabelle 26 fasst die Ergebnisse des ersten Leistungstests zusammen.

Tab. 26: Ergebnisse der Leistungsdiagnostik während der Normwertbestimmung TN2.

Stufe	Dauer Min	Leistung km/h	Laktat mmol/l	HF S/min.
Ruhe	0	0	1,44	73
1	3	10	1,67	130
2	3	11,8	1,42	142
3	3	13,6	1,94	168
4	3	15,4	3,37	179
5	3	17,2	6,30	185

Bei einem angegebenen Borg-Wert von 15 (hart) ist nicht von einer maximalen Ausbelastung auszugehen, obwohl hohe Werte für Befindlichkeit (70 %) und Motivation (80 %) unmittelbar vor dem Test die Bereitschaft des Teilnehmers dokumentieren, sich maximal zu verausgaben.

Eine Reduktion der maximalen Herzfrequenz um mindestens 10 Schläge pro Minute am Ende der letzten Teststufe sowie eine Verringerung der maximalen Laktatwerte um mehr als 1,26 mmol/l (20 %) und eine Leistungsminderung um 1,7 km/h (10 %) werden als diagnoserelevante Kriterien einer Überbelastung vordefiniert. Bei mindestens gleich hohem Belastungsumfang könnten diese, falls keine Verletzung, Krankheit oder sonstige körperliche Beeinträchtigungen diagnostiziert werden, eine Überbelastung anzeigen.

#### *Deutschlandlauf*

Anhand der in Abbildung 21 dargestellten Laufgeschwindigkeiten ist ein deutliches Absinken der Wettkampfgeschwindigkeit des Teilnehmers von 10,3 km/h (1. Tag) auf 7,9 km/h (8. Tag) ersichtlich. Dies entspricht einer Reduzierung um 23 %, während im Vergleich dazu die mittlere Wettkampfgeschwindigkeit aller Teilnehmer, die die jeweiligen ersten acht Tagesetappen erfolgreich beendeten, in diesem Zeitraum um lediglich 13,5 % abnahm.

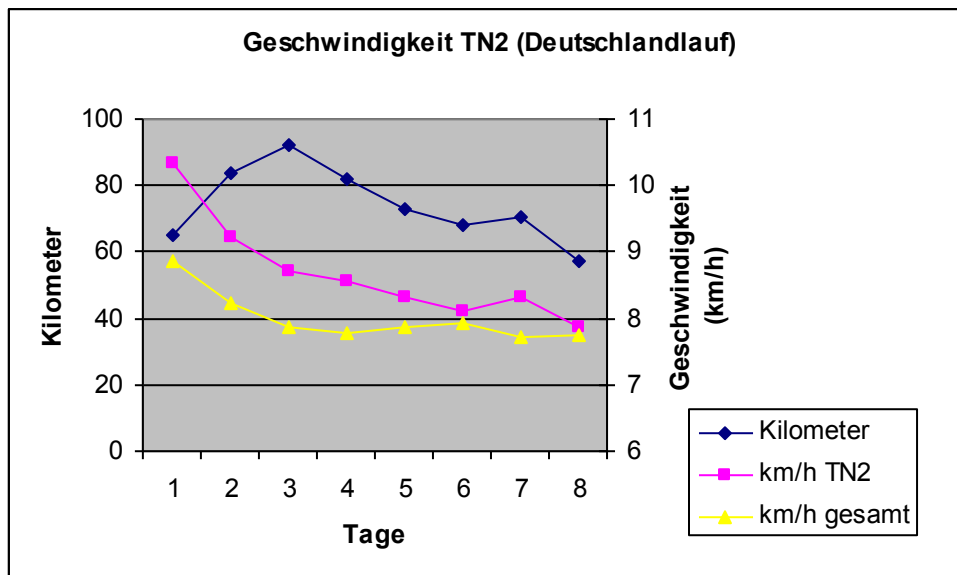


Abb. 21: Verlauf der Wettkampfgeschwindigkeit von TN2

Parallel zur Verringerung der Laufgeschwindigkeit stieg das Anstrengungsempfinden von 13 („ein wenig hart“, 1. Tag) auf 15 („hart“, 2. bis 5. Tag) bzw. 16 (zwischen „hart“ und „sehr hart“, 6. Tag) an, fiel dann auf 14 ab (7. Tag) und steigerte sich danach wieder auf 16 Borg-Punkte (8. Tag).

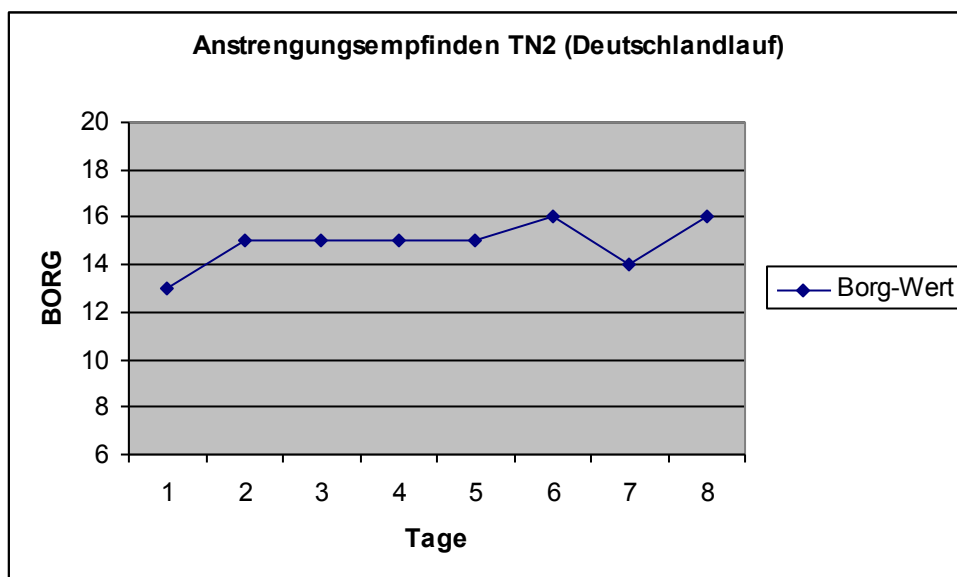


Abb. 22: Verlauf des Anstrengungsempfindens während des Deutschlandlaufs bei TN2

Die tendenziell gegensätzlichen Verläufe von Laufgeschwindigkeit und Anstrengungsempfinden lassen eine Abnahme der Leistungskapazität im Wettkampfverlauf erkennen, die jedoch verletzungsbedingte Ursachen hat. So begründet der Teilnehmer im ersten Abschlussfragebogen unmittelbar nach Beendigung des Deutschlandlaufs die hohen Borg-Werte mit den aufgetretenen Verletzungen. Erste Eintragungen bezüglich körperlicher Probleme finden sich im Befindlichkeitsprotokoll vom 12.9.08 (5. Etappe), in dem Verletzungen als belastendes Ereignis genannt werden.

Auch an den folgenden Wettkampftagen bis zur achten Etappe am 15.9.08 beeinflussen die Verletzungen die Befindlichkeit des Teilnehmers und führen schließlich zum Abbruch des Laufs.

In Abbildung 23 sind das körperliche Befinden und die Motivation des Athleten am Morgen vor den einzelnen Tagesetappen sowie die Zufriedenheit mit dem Wettkampfergebnis nach den jeweiligen Wettkampfetappen dargestellt. Sämtliche Parameter zeigen abfallende Tendenz mit einem Tiefpunkt am achten und letzten Wettkampftag.

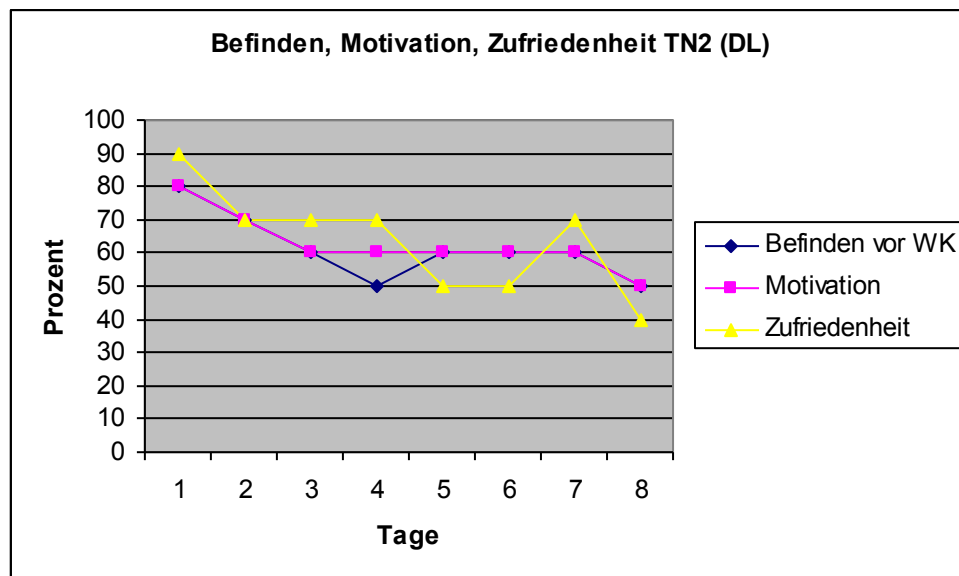


Abb. 23: Verlauf des körperlichen Befindens, der Motivation und der Wettkampfszufriedenheit von TN2

Der Teilnehmer bewertete anhand des oben erwähnten Fragebogens die Gesamtanstrengung des Deutschlandlaufs als „hart“ (Borg-Wert: 15). Eine körperliche Überforderung, festgemacht an der subjektiven Einschätzung, über dem persönlichen Leistungsvermögen laufen zu müssen, wurde verneint. Der Sportler berichtete von einem mentalen Leistungseinbruch am sechsten Etappentag, als die Verletzungen schon aufgetreten waren.

Trotz einer deutlich verschlechterten Befindlichkeit im Anschluss an den Deutschlandlauf (40 %) wird eine körperliche oder mentale Erschöpfung verneint.

Der zweite Laktat-Leistungstest sollte innerhalb eines Zeitfensters von drei bis fünf Tagen nach Beendigung des Deutschlandlaufs durchgeführt werden. Aufgrund der aufgetretenen Verletzungen musste dieser Test abgesagt werden. Erst zwei Wochen später waren die verletzungsbedingten Probleme dahin gehend abgeklungen, dass ein letzter Laktat-Leistungstest durchgeführt werden konnte.

### Regeneration

Die beim dritten Leistungstest am 30.9.08 unmittelbar vor Testbeginn ermittelten Werte für Befindlichkeit (70 %) und Motivation (70 %) sind im Vergleich zu Test 1 nahezu identisch.

Die erreichte Maximalleistung betrug 15,4 km/h und ist damit um 1,8 km/h bzw. eine Stufe schlechter als bei Test 1 (-10,5 %), sodass von einer Leistungsminderung ausgegangen werden kann, die als kritisch einzustufen ist.

Die 4 mmol/l Laktatschwelle wurde nicht erreicht, demnach konnte keine Laufleistung an dieser Schwelle ermittelt werden. Das Anstrengungsempfinden wurde mit 14 (zwischen „hart“ und „ein wenig hart“) eingeschätzt und ist im Vergleich zu Test 1 um einen Punkt der Borg--Skala verringert. Wie im ersten Test kann also nicht von einer maximalen Ausbelastung des Sportlers ausgegangen werden. Die maximale Herzfrequenz bei Abbruch betrug 180 Schläge pro Minute, 5 Schläge weniger als bei Test 1. Der maximale Laktatwert lag bei 3,89 mmol/l und war damit im Vergleich zum Eingangstest um 38 % reduziert, was ebenso als kritisch einzustufen ist.

Sowohl die deutliche Leistungsminderung als auch der deutlich reduzierte maximale Laktatwert sind vor dem Hintergrund eines nahezu identischen Anstrengungsempfindens und fast identischer Motivation vor dem Test zu bewerten und gelten als diagnoserelevante Kriterien einer Überbelastung (siehe Kapitel 4.7). Tabelle 27 fasst die Ergebnisse des letzten Leistungstests zusammen.

Tab. 27: Ergebnisse der 3. Leistungsdiagnostik TN2.

Stufe	Dauer Min	Leistung km/h	Laktat mmol/l	HF S/min.
Ruhe	0	0	1,83	98
1	3	10	1,69	125
2	3	11,8	1,81	145
3	3	13,6	2,32	165
4	3	15,4	3,89	180

### 5.2.2.3 TN3

#### *Normwertbestimmung*

Am 1.7.2008 wurde der erste Laktatleistungstest nach den in Kapitel 4.6.4 beschriebenen Kriterien in einem sportmedizinischen Institut (MantraSport) in Schweden durchgeführt. Alle geforderten Standards des Swiss Olympic Medical Centers wurden berücksichtigt und eingehalten.

Der Teilnehmer erreichte bei diesem Test Stufe 3 (13,6 km/h), die nicht komplett abgeschlossen, sondern nach 2,05 Minuten abgebrochen wurde. Dies entspricht einer maximalen Gesamtleistung von 13,03 km/h, die maximale Herzfrequenz bei Testabbruch betrug 160 Schläge pro Minute, die maximale Laktatkonzentration unmittelbar nach Abbruch 3,8 mmol/l.

Tabelle 28 stellt die Ergebnisse des ersten Leistungstests dar.



Tab. 28: Ergebnisse der Leistungsdiagnostik während der Normwertbestimmung TN3.

Stufe	Dauer Min	Leistung km/h	Laktat mmol/l	HF S/min.
Ruhe	0	0	-	-
1	3	10	2,1	132
2	3	11,8	2,5	146
3	2,05	13,6	3,8	160
4	-	-	-	-

Das Anstrengungsempfinden wurde mit der auf der Borg-Skala maximalen möglichen Bewertung von 20 eingeschätzt, sodass von einer maximalen Ausbelastung des Sportlers auszugehen ist. Die Motivation des Teilnehmers vor dem Test war hoch (80 %), seine aktuelle Befindlichkeit jedoch eingeschränkt (50 %).

Die erreichte Maximalgeschwindigkeit von 13,03 km/h wird als maximale Leistungsfähigkeit definiert und dient als Referenzwert für die folgenden Tests. Eine Reduktion der maximalen Herzfrequenz um mindestens 10 Schläge pro Minute am Ende der letzten Teststufe sowie eine Verringerung des maximal erreichten Laktatwertes um mehr als 0,76 mmol/l (20 %) und eine Leistungsminderung um wenigstens 1,3 km/h (10 %) werden als diagnoserelevante Kriterien einer Überbelastung vordefiniert. Bei mindestens gleich hohem Belastungsumfang könnten diese, falls keine Verletzung, Krankheit oder sonstige körperliche Beeinträchtigungen diagnostiziert werden, eine Überbelastung anzeigen.

#### *Deutschlandlauf*

Die in Abbildung 24 zu erkennende Abnahme der von Beginn des Deutschlandlaufs an unterhalb der Durchschnittsgeschwindigkeit der restlichen Teilnehmer liegenden Laufgeschwindigkeit von TN3 zeigt eine gegenläufige Tendenz zur Wettkampfdistanz.

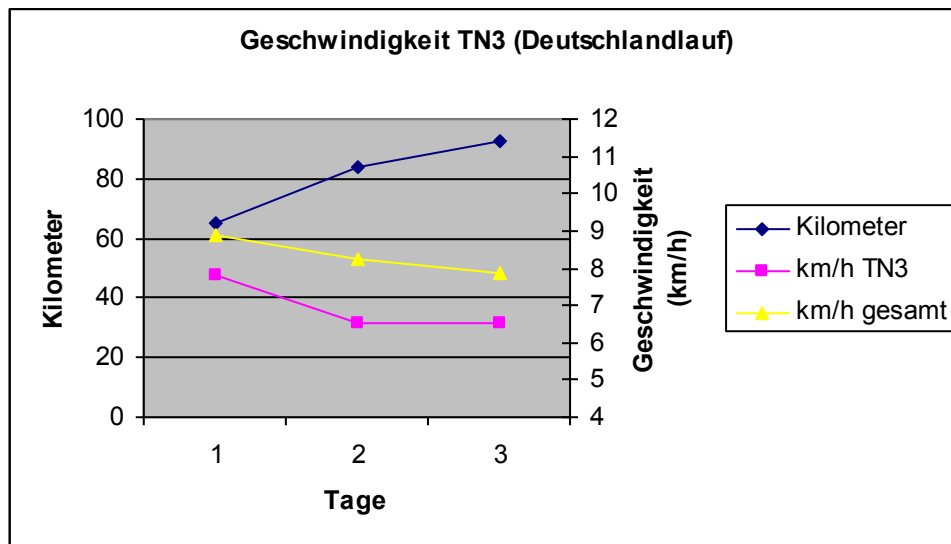


Abb. 24: Verlauf der Wettkampfgeschwindigkeit von TN3

Gleichzeitig stieg das Anstrengungsempfinden des Teilnehmers kontinuierlich über die drei Wettkampftage von 13 („ein wenig hart“) auf 17 („sehr hart“) und 19 („extrem hart“) an.

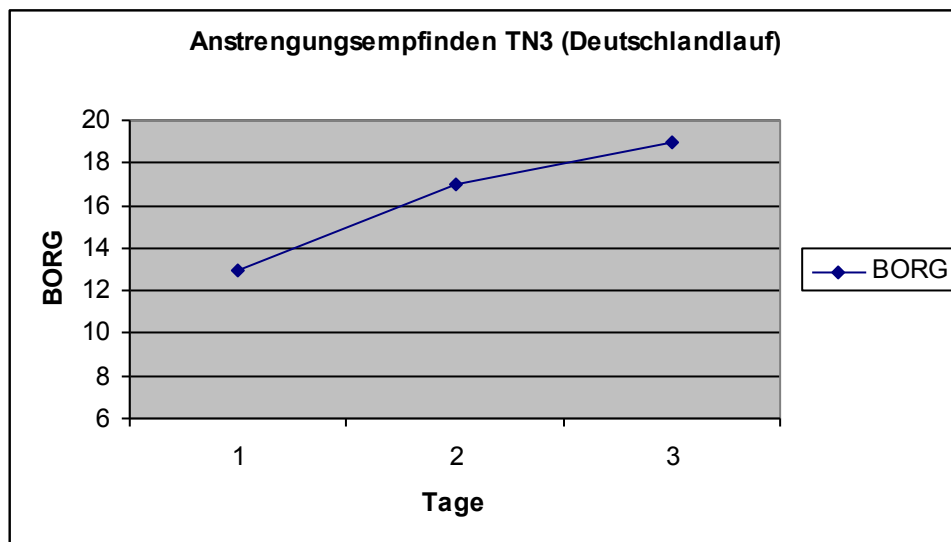


Abb. 25: Verlauf des Anstrengungsempfindens während des Deutschlandlaufs bei TN3

Der Teilnehmer gab in einem Fragebogen nach Beendigung des Deutschlandlaufs an, während der Wettkampfphase täglich lediglich 7000 kcal zu sich genommen zu haben und damit zu wenig, um über ausreichende Energiereserven zur Bewältigung der Tagesetappen zu verfügen. Als zusätzliche das Leistungsvermögen einschränkende Faktoren während des Wettkampfes nannte der Teilnehmer Verdauungsprobleme sowie Schlafstörungen. An Tag 2 fühlte er sich körperlich schwach und energielos und klagte nach der Zielankunft über starkes Zittern. Nach dem Essen jedoch und am nächsten Morgen fühlte er sich wieder erholt.

In Abbildung 26 sind die Verläufe des körperlichen Befindens und der Motivation vor den jeweiligen Tagesetappen sowie die subjektive Zufriedenheit im Anschluss an diese dargestellt.

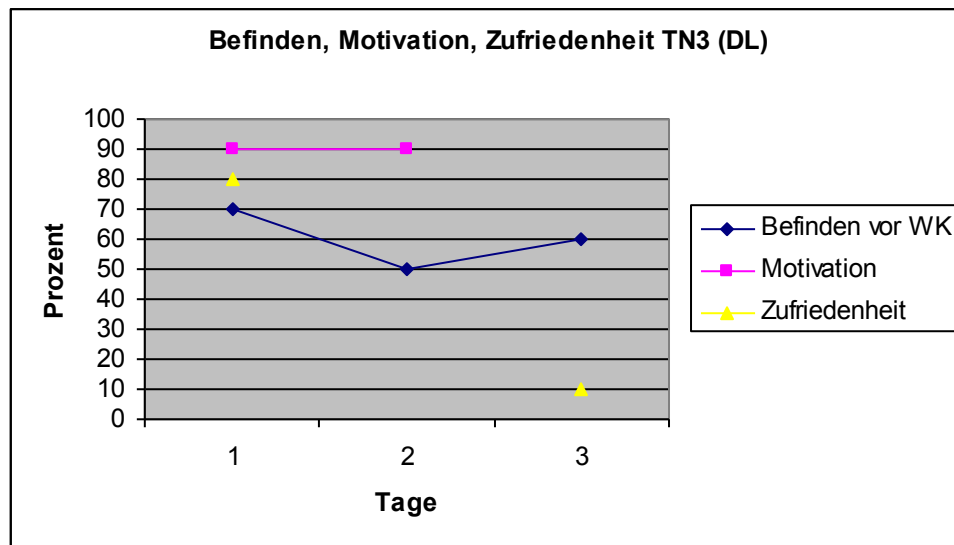


Abb. 26: Verlauf des körperlichen Befindens, der Motivation und der Wettkampfszufriedenheit von TN3

Der zweite Laktat-Leistungstest sollte innerhalb eines Zeitfensters von drei bis fünf Tagen nach Beendigung des Deutschlandlaufs durchgeführt werden. Der Teilnehmer absolvierte den Test am 12.9.2008 im Institut MantraSport in Schweden.

Die angegebenen Werte für Befindlichkeit und Motivation vor Durchführung des Tests lagen bei 70 %, der Teilnehmer war also ähnlich motiviert wie bei Test eins und fühlte sich körperlich etwas besser.

Im Vergleich zum ersten Test am 1.7.08 (max. Leistung 13,03 km/h) wurde beim zweiten Test eine maximale Leistung von 12,7 km/h erreicht – bei identischem Borg-Wert (20). Stufe drei (13,6 km/h) wurde nach 1 Minute und 30 Sekunden abgebrochen. Die maximale Herzfrequenz bei Abbruch betrug 145 Schläge pro Minute und war damit im Vergleich zum Eingangstest um 15 Schläge reduziert. Der maximale Laktatwert lag bei 3,9 mmol/l und damit auf ähnlichem Niveau wie beim ersten Test.

Tab. 29: Ergebnisse der 2. Leistungsdiagnostik TN3.

Stufe	Dauer Min	Leistung km/h	Laktat mmol/l	HF S/min.
Ruhe	0	0	-	-
1	3	10	1,8	127
2	3	11,8	3,1	140
3	1,30	13,6	3,9	145
4	-	-	-	-

### *Regeneration*

Der dritte und letzte Leistungstest wurde am 29.9.08, 19 Tage nach Beendigung des Deutschlandlaufs, am Institut MantraSport in Schweden durchgeführt. Die angegebenen Werte für die Befindlichkeit (80 %) und Motivation (90 %) am Testtag sind im Vergleich zu den ersten beiden Tests erhöht.

Die erreichte Maximalleistung betrug 14 km/h – der Teilnehmer erreichte Stufe 4 und lief diese 40 Sekunden. Die Leistung ist somit ca. 7 % besser als beim ersten Eingangstest am 1.7.08. Das Anstrengungsempfinden wurde wiederum mit 20 eingeschätzt, es fand also eine Ausbelastung statt. Die maximale Herzfrequenz bei Abbruch betrug 160 Schläge pro Minute, also wiederum 15 Schläge pro Minute mehr als bei Test zwei. Der maximale Laktatwert lag bei 8,3 mmol/l und ist damit um mehr als 100 % gegenüber der ersten beiden Tests erhöht.

*Tab. 30: Ergebnisse der 3. Leistungsdiagnostik TN3.*

<b>Stufe</b>	<b>Dauer Min</b>	<b>Leistung km/h</b>	<b>Laktat mmol/l</b>	<b>HF S/min.</b>
Ruhe	0	0	-	-
1	3	10	2,2	133
2	3	11,8	3,5	148
3	3	13,6	6,2	158
4	0,40	15,4	8,3	160

### 5.2.2.4 TN4

TN4 nahm unter der Bedingung an der Studie teil, die Leistungstests auf dem Laufband aus Angst vor auftretenden Verletzungen nicht absolvieren zu müssen. Aus diesem Grund liegen für diesen Teilnehmer lediglich Leistungsparameter vor, die während des Deutschlandlaufs ermittelt wurden.

### *Deutschlandlauf*

Abbildung 27 zeigt die Entwicklung der Laufgeschwindigkeit des Teilnehmers über die einzelnen Tagesetappen vor dem Hintergrund der jeweiligen Etappenlängen.

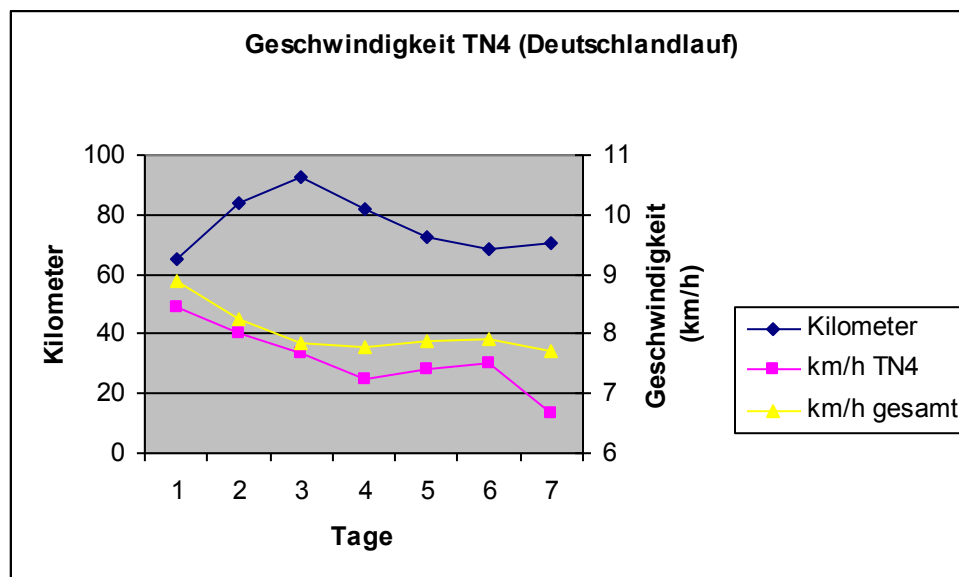


Abb. 27: Verlauf der Wettkampfgeschwindigkeit von TN4

Die Laufgeschwindigkeit des Teilnehmers bewegte sich auf den ersten sechs Etappen nur knapp unterhalb der mittleren Geschwindigkeit derjenigen Läufer, die die Etappen erfolgreich beendeten, der Teilnehmer ist durchschnittlich um 5 % langsamer als seine Konkurrenten. Auf der letzten absolvierten Etappe sinkt die Geschwindigkeit deutlich ab und ist im Vergleich zur ersten Etappe um 21 % reduziert, im Vergleich zur mittleren Geschwindigkeit der restlichen Teilnehmer um 13,5 %.

Die Borg-Werte zeigen auf den ersten drei Etappen ansteigende Tendenz, obwohl die Laufgeschwindigkeit abnimmt. Auf der dritten Etappe (Borg-Wert 19, „extrem hart“) ist von einer Ausbelastung bzw. maximalen Anstrengung des Teilnehmers auszugehen. Mit Ausnahme des fünften Etappentages (Borg-Wert 13) sind die Angaben für das Anstrengungsempfinden hoch: 18 (4. Tag), 17 (6. Tag) und 18 (7. Tag).

Der Teilnehmer gab in einem Fragebogen im Anschluss an den Deutschlandlauf an, sich nachts ausreichend von den einzelnen Tagesetappen erholen zu können. Insgesamt habe er leicht über seinem aktuellen Leistungsvermögen laufen müssen. Am dritten Wettkampftag, der aus einer Etappe über 92 Kilometer bestand, verspürte TN4 einen Leistungseinbruch. Der Borg-Wert an diesem Tag (19) zeigt eine Ausbelastung des Sportlers an. Eine mentale oder körperliche Erschöpfung im Anschluss an den Deutschlandlauf wurde verneint. Das körperliche Befinden nach Beendigung des Deutschlandlaufes wurde mit 90 % bewertet (sehr gut). Insgesamt beurteilte der Teilnehmer die Anstrengung des Deutschlandlaufs als „hart“ bzw. „sehr hart“.

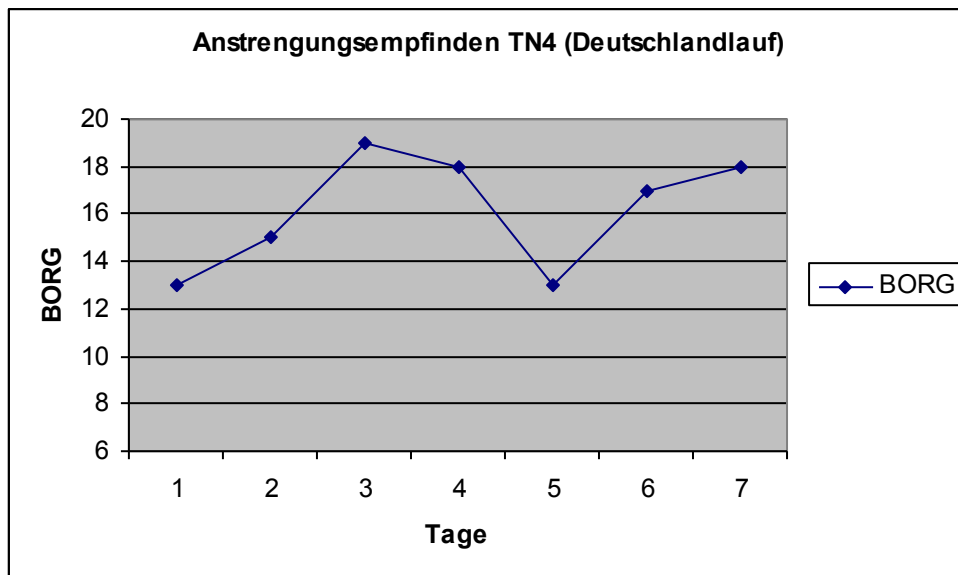


Abb. 28: Verlauf des Anstrengungsempfindens während des Deutschlandlaufs bei TN4

Im letzten Wettkampfdiagramm (Abbildung 29) dargestellt sind das körperliche Befinden und die Motivation des Athleten am Morgen vor den einzelnen Tagesetappen sowie die Zufriedenheit mit dem Wettkampfergebnis nach dem jeweiligen Wettkampf. Auffallend ist ein tendenzielles Absinken der Kennwerte Motivation und Befinden mit Zunahme der Wettkampfdauer. Auch die Zufriedenheit mit den Wettkampfergebnissen sinkt, mit Ausnahme des fünften Tages des Deutschlandlaufs. An diesem Etappentag zeigt das Anstrengungsempfinden einen Wert von 13 an.

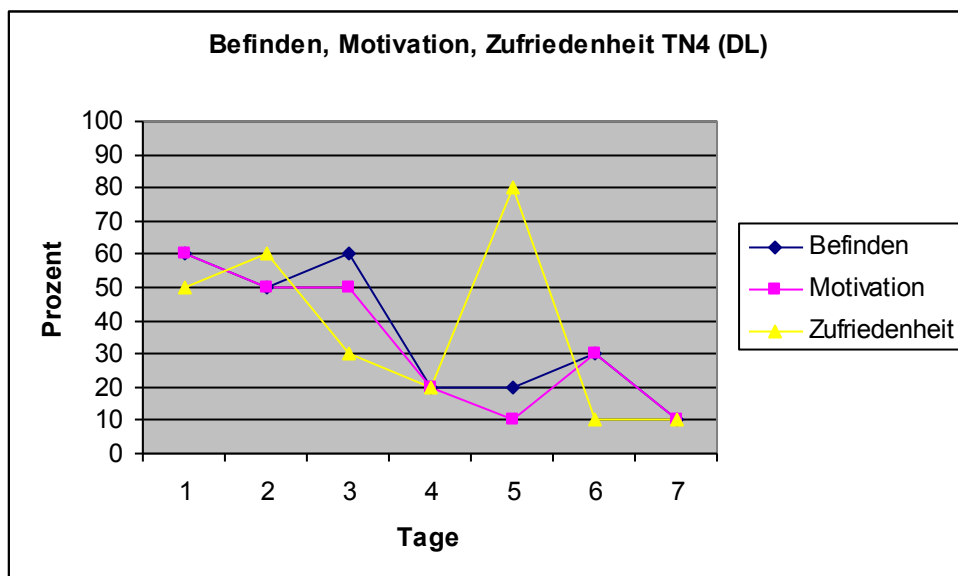


Abb. 29: Verlauf des körperlichen Befindens, der Motivation und der Wettkampfszufriedenheit von TN4

### 5.2.2.5 TN5

#### *Normwertbestimmung*

Am 31.7.08 wurde bei TN5 der erste Laktatleistungstest nach den in Kapitel 4.6.4 beschriebenen Kriterien in der sportmedizinischen Abteilung des Reha-Zentrums Oldenburg durchgeführt. Der Teilnehmer erreichte dabei Stufe 5 (17,2 km/h), die nach einer Minute abgebrochen werden musste. Dies entspricht einer Maximalleistung von 16 km/h ( $15,4 \text{ km/h} + \frac{1}{3} \times 1,8 \text{ km/h}$ ). Die Laufleistung bei 4 mmol/l Laktat betrug 14,2 km/h, die maximale Herzfrequenz am Ende des Tests 171 Schläge pro Minute, der maximale Laktatwert unmittelbar nach Abbruch des Tests 6,3 mmol/l. Tabelle 31 bietet einen Überblick über die ermittelten Leistungsdaten für TN5 bei dessen erstem Test.

Tab. 31: Ergebnisse der Leistungsdiagnostik während der Normwertbestimmung TN5.

Stufe	Dauer Min	Leistung km/h	Laktat mmol/l	HF S/min.
Ruhe	0	0	1,2	56
1	3	10	1,6	78
2	3	11,8	1,7	146
3	3	13,6	3,0	161
4	3	15,4	5,6	170
5	1	17,2	6,3	171

Bei einem angegebenen Borg-Wert von 17 (sehr hart) ist von einer annähernd maximalen Belastung für den Teilnehmer auszugehen.

Hohe Werte für Befindlichkeit (100 %) und Motivation (100 %) unmittelbar vor dem Test sprechen für die Bereitschaft des Teilnehmers, sich maximal auszubelasten, sowie für optimale Bedingungen für die Durchführung des Tests.

Eine Reduktion der maximalen Herzfrequenz um mindestens 10 Schläge pro Minute am Ende der letzten Teststufe sowie eine Verringerung der maximalen Laktatwerte um mehr als 1,26 mmol/l (20 %) und eine Leistungsminderung um wenigstens 1,6 km/h (10 %) werden als diagnoserelevante Kriterien einer Überbelastung vordefiniert. Bei mindestens gleich hohem Belastungsumfang könnten diese, falls keine Verletzung, Krankheit oder sonstige körperliche Beeinträchtigungen vorliegen, eine Überbelastung anzeigen.

#### *Deutschlandlauf*

Die erzielten Laufgeschwindigkeiten des Teilnehmers während der einzelnen Tagesetappen zeigen einen deutlichen Abfall von der ersten bis zur achten Etappe an. Bei Etappe 8 erreicht die Geschwindigkeit ihren Tiefpunkt und liegt um 25 % unter der Geschwindigkeit des ersten Etappentages. Im Vergleich dazu beträgt der Geschwindigkeitsabfall aller erfolgreichen Läufer in diesem Zeitraum lediglich 13,5 % in Relation zum ersten Etappentag.

Abbildung 30 zeigt die Entwicklung der Laufgeschwindigkeit von TN5 vor dem Hintergrund der jeweiligen Etappenlängen.

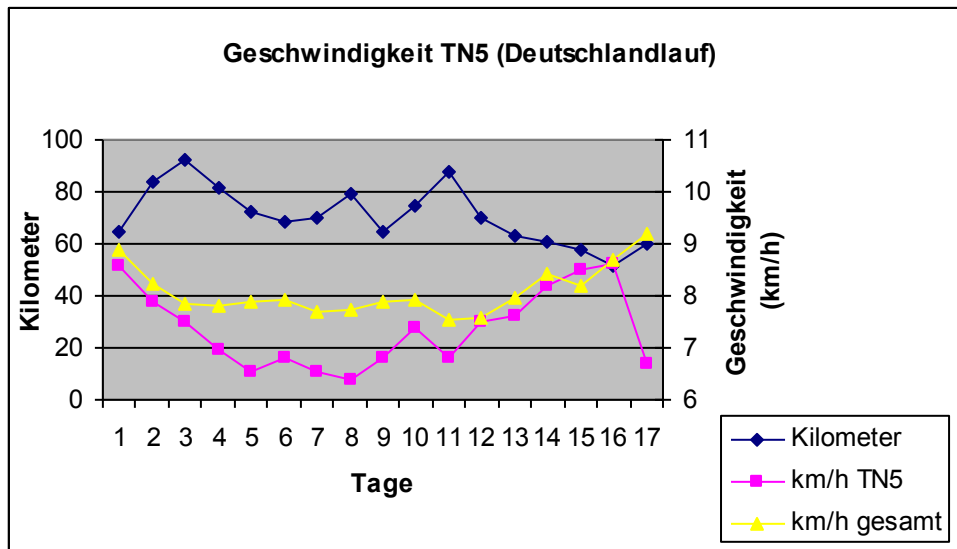


Abb. 30: Verlauf der Wettkampfgeschwindigkeit von TN5

Parallel zur Abnahme der Laufgeschwindigkeit zeigt sich eine Zunahme des Anstrengungsempfindens von der ersten bis zur achten Etappe. In der zweiten Wettkampfhälfte dagegen steigt die Laufgeschwindigkeit wieder an, gleichzeitig zeigt das Anstrengungsempfinden eine abnehmende Tendenz.

Abbildung 31 zeigt den Verlauf der Borg-Werte von TN5 während des Deutschlandlaufs.

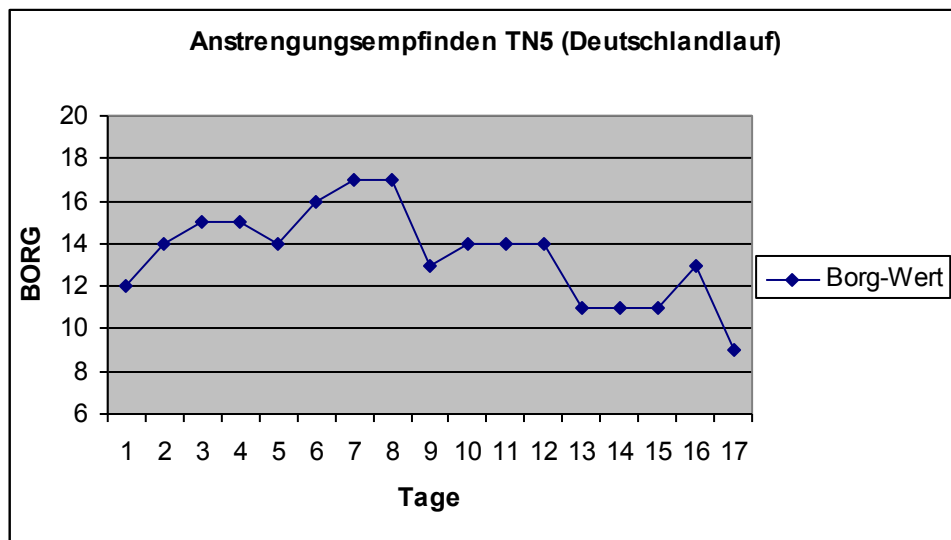


Abb. 31: Verlauf des Anstrengungsempfindens während des Deutschlandlaufs bei TN5



Im Anschluss an den Deutschlandlauf beurteilte der Teilnehmer den Wettkampf als „hart“ und gab an, dass er phasenweise über seinem eigentlichen Leistungsvermögen habe laufen müssen. Einen Leistungseinbruch verspürte der Sportler nach eigenen Angaben nicht.

Das Befinden nach Beendigung des Deutschlandlaufs wurde als sehr gut bewertet, lediglich die vorliegenden Verletzungen (Knochenhautentzündung, Muskelfaserriss) hinderten den Teilnehmer an der Weiterführung des normalen Trainingspensums.

In Abbildung 32 sind das körperliche Befinden, die Motivation des Athleten am Morgen vor den einzelnen Tagesetappen sowie die Zufriedenheit mit dem Wettkampffresultat nach dem jeweiligen Wettkampf dargestellt. Auffallend sind durchweg hohe und konstante Kennwerte der Messgrößen Befinden, Motivation und Wettkampfszufriedenheit. Es zeigt sich ein leichter Knick beim körperlichen Befinden am vierten Wettkampftag (70 %), das jedoch ab dem nächsten Tag wieder ansteigt.

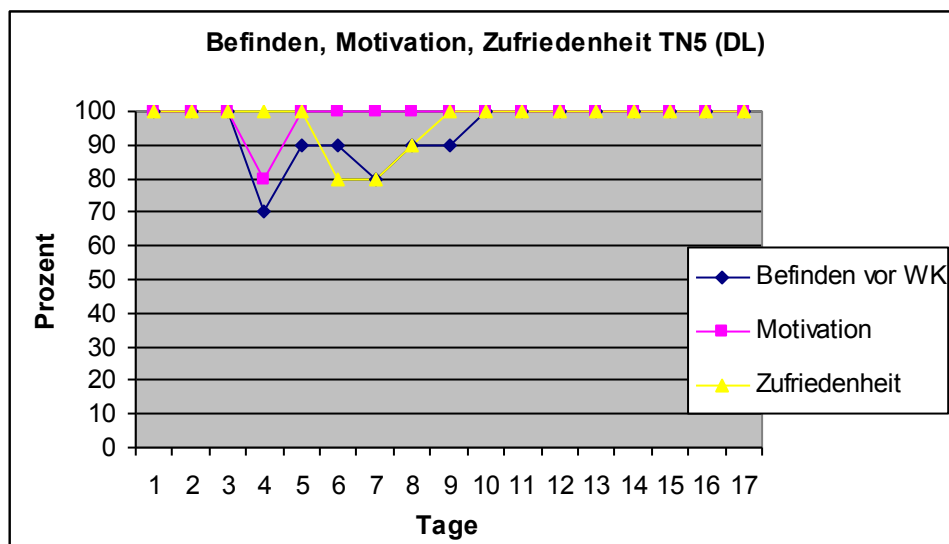


Abb. 32: Verlauf des körperlichen Befindens, der Motivation und der Wettkampfszufriedenheit von TN5

Der zweite und dritte Laktat-Leistungstest konnte aufgrund eines am letzten Wettkampftag zugezogenen Muskelfaserrisses nicht durchgeführt werden.

#### 5.2.2.6 TN6

##### Normwertbestimmung

Am 14.7.08 wurde der erste Laktat-Leistungstest nach den in Kapitel 4.6.4 beschriebenen Kriterien im Klinikum Nürnberg Süd durchgeführt. TN6 erreichte dabei Stufe 5, die nach einer Minute abgebrochen wurde. Dies entspricht einer Maximalleistung von 16,0 km/h. Die Laufleistung an der 4 mmol/l Laktatschwelle betrug 15,4 km/h, die maximale Herzfrequenz am Ende der letzten Stufe 179 Schläge pro Minute. Der maximale Laktatwert unmittelbar nach Abbruch der letzten

Belastungsstufe lag bei 7,82 mmol/l. Tabelle 32 fasst die Ergebnisse des ersten Leistungstests zusammen.

Tab. 32: Ergebnisse der Leistungsdiagnostik während der Normwertbestimmung TN6.

Stufe	Dauer Min	Leistung km/h	Laktat mmol/l	HF S/min.
Ruhe	0	0	0,83	97
1	3	10	1,46	141
2	3	11,8	1,91	155
3	3	13,6	3,02	167
4	3	15,4	6,55	178
5	1	17,2	7,82	179

Bei einem Borg-Wert von 17 (sehr hart) ist von einer annähernden Ausbelastung des Teilnehmers auszugehen. Hohe Werte für Befindlichkeit (70 %) sowie Motivation (80 %) zeigen die Bereitschaft des Teilnehmers, sich maximal anzustrengen.

Eine Reduktion der maximalen Herzfrequenz um mindestens 10 Schläge pro Minute am Ende der letzten Belastungsstufe sowie eine Verringerung der maximalen Laktatwerte um mehr als 1,56 mmol/l (20 %) und eine Leistungsminderung um wenigstens 1,6 km/h (10 %) werden als Diagnoseparameter für eine Überbelastung vordefiniert. Bei mindestens gleich hohem Belastungsumfang könnten diese, falls keine Verletzung, Krankheit oder sonstige körperliche Beeinträchtigungen diagnostiziert werden, eine Überbelastung anzeigen.

#### *Deutschlandlauf*

Die Laufgeschwindigkeit von TN6 zeigt auf den Etappen 2 und 3 eine deutliche Abnahme und bleibt dann bis zum Abbruch des Laufes auf konstant niedrigem Niveau. Sie liegt auf der letzten vollständig durchgeführten Etappe um 29 % unterhalb der Geschwindigkeit der ersten Tagesetappe.

Abbildung 33 zeigt den Verlauf der Wettkampfgeschwindigkeit von TN6 vor dem Hintergrund der jeweiligen Etappenlängen.

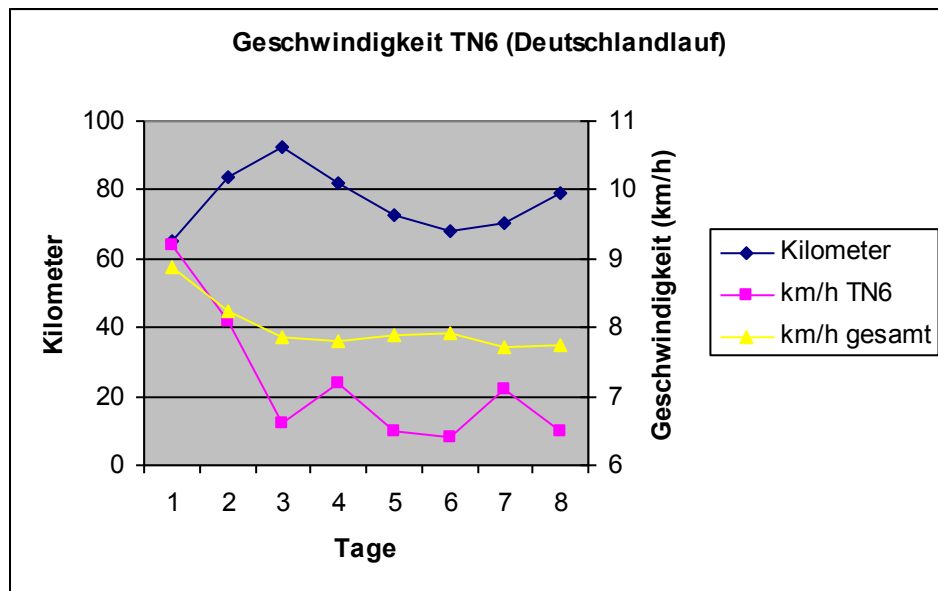


Abb. 33: Verlauf der Wettkampfgeschwindigkeit von TN6

Der zweite Laktat-Leistungstest sollte innerhalb eines Zeitfensters von drei bis fünf Tagen nach Beendigung des Deutschlandlaufs durchgeführt werden. TN6 absolvierte den Test am 26.9.08 in der Abteilung Gesundheits- und Leistungsdiagnostik des Instituts Medicos in Osnabrück. Aufgrund von Verletzungsproblemen (Wasseransammlung und Schmerzen in den Beinen) war ein früheres Durchführen der Leistungstests nicht möglich.

Die beim zweiten Test erreichte Maximalleistung betrug 15,4 km/h, Stufe 4 wurde komplett abgeschlossen. Die Laufleistung bei 4 mmol/l Laktat betrug 13,7 km/h. Die maximale Herzfrequenz bei Abbruch lag bei 175 Schlägen pro Minute und damit um 4 Schläge unterhalb der maximalen Herzfrequenz bei Test 1. Der maximale Laktatwert erreichte einen Wert von bei 6,9 mmol/l und war damit um 12 % gegenüber dem Eingangswert bei Test 1 erniedrigt. Tabelle 33 fasst die Ergebnisse des zweiten Leistungstests zusammen.

Tab. 33: Ergebnisse der 2. Leistungsdiagnostik TN6.

Stufe	Dauer Min	Leistung km/h	Laktat mmol/l	HF S/min.
Ruhe	0	0	-	-
1	3	10	1,8	136
2	3	11,8	2,7	154
3	3	13,6	3,6	164
4	3	15,4	6,9	175
5	-	-	-	-

*Regeneration*

Die Regenerationsphase schloss mit dem letzten Leistungstest am 30.9.08 ab. Die erreichte Maximalleistung betrug 15,4 km/h und ist damit identisch mit der Laufleistung bei Test 2 und im Vergleich zu Test 1 leicht schlechter. An der 4 mmol/l-Laktatschwelle wurde eine Laufgeschwindigkeit von 14,4 km/h ermittelt. Die maximale Herzfrequenz bei Abbruch lag bei 176 Schlägen pro Minute, der maximale Laktatwert bei 5,7 mmol/l und damit um 27 % unterhalb des Wertes des ersten Tests.

Tab. 34: Ergebnisse der 3. Leistungsdiagnostik TN6.

Stufe	Dauer Min	Leistung km/h	Laktat mmol/l	HF S/min.
Ruhe	0	0	-	-
1	3	10	1,5	136
2	3	11,8	2,1	150
3	3	13,6	3,1	164
4	3	15,4	5,7	176
5	-	-	-	-

### 5.2.2.7 Zusammenfassung und Diskussion

#### TN1

Fraglich erscheint, inwiefern die während des ersten Leistungstests am 14.7.08 ermittelten Referenzdaten tatsächlich das maximale Leistungsniveau des Sportlers realistisch widerspiegeln. Das ungewohnt schnelle Laufen auf dem Laufband (eigene Angabe des Sportlers) in Zusammenhang mit der, wenn auch moderaten, in den Vorwochen durchgeführten Diät und der über zweistündigen Trainingseinheit am 12.7.08 könnten hier leistungslimitierend gewirkt haben. Die erreichte Maximalgeschwindigkeit kann somit nur unter Vorbehalt als maximale Leistungskapazität bewertet werden, sodass möglicherweise schon eine Leistungsstagnation bei Test 2 bzw. 3 als kritisch zu bewerten ist.

Ein Leistungseinbruch von TN1 während des Deutschlandlaufs aufgrund mehrtägig und deutlich abfallender Laufgeschwindigkeiten ist nicht auszumachen. Zwar sank die Geschwindigkeit vom achten bis zum elften Etappentag auf einen Tiefstwert von 8,6 km/h ab, dies scheint jedoch im Zusammenhang mit den allgemein niedrigeren Laufgeschwindigkeiten für diese Tagesetappen eher den ansteigenden Belastungsumfängen zuzuschreiben zu sein. Es ist davon auszugehen, dass die anspruchsvolleren und längeren Etappen in der Mitte der Wettkampfphase die abfallende Durchschnittsgeschwindigkeit aller die jeweiligen Tagesetappen erfolgreich beendenden Teilnehmer erklären. Ein bewusstes Drosseln der Laufgeschwindigkeit, um einer möglichen Überbelastung vorzubeugen, ist ebenfalls nicht auszuschließen.

Insgesamt absolvierte TN1 den Deutschlandlauf und damit eine deutliche Steigerung seines ohnehin hohen üblichen Belastungsumfangs um 237 % ohne nennenswerte Probleme.

Die Interpretation des zweiten Leistungstests vom 29.08.08 muss vor dem Hintergrund stattfinden, dass es wie auch beim ersten Test nicht zu einer maximalen Ausbelastung des Sportlers kam (Borg-Wert: 17). Leistungslimitierend dürfte auch wieder das ungewohnte Laufen auf dem Laufband gewirkt haben. Zusätzlich zu erwähnen sind die Bemerkungen des Sportlers auf dem Testprotokoll: Angemerkt wurden eine zu warme Raumtemperatur sowie eine noch leichte Reizung der Sehne über dem linken Knöchel. Ausgehend von diesen Angaben ist es gerechtfertigt, die geringfügige Leistungsminderung von ca. 4 % im Vergleich zum ermittelten Normwert einer normalen Tag-zu-Tag-Schwankung zuzuschreiben. Keiner der genannten Diagnoseparameter für eine Überbelastung (Leistungsminderung um mindestens 10 %, Abfall des maximalen Laktatwerts beim Leistungstest um mindestens 20 %, Abfall der maximalen Herzfrequenz um mindestens 10 Schläge pro Minute) konnte nachgewiesen werden.

Die beim dritten Leistungstest (16.10.08) erzielte Laufleistung könnte durch eine Gewöhnung an das Testgerät positiv beeinflusst worden sein. Es fiel dem Teilnehmer beim letzten Test leichter, die gleiche Laufleistung wie beim Eingangstest zu erzielen (Borg-Wert: 14). Der deutlich erhöhte maximale Laktatwert wirft die Frage auf, welche Faktoren die geringeren maximalen Laktatwerte bei den ersten beiden Tests ursächlich bedingt haben könnten. Die zu Beginn durchgeführte Diät lässt ein reduziertes Glykogendepot bei Test 1 als mögliche Erklärung nicht ausschließen, gleiches gilt für den im Vergleich zum dritten Test reduzierten maximalen Laktatwert beim zweiten Leistungstest. Auch hier könnten die Glykogenspeicher aufgrund der vorangegangenen 17-tägigen Extrembelastung entleert gewesen sein.

Nach Jeukendrup und Hesselink (1994) sind jedoch bei reduzierten Laktatwerten auch eine verbesserte Fähigkeit des Laktatabbaus sowie eine reduzierte sympathische Regulation oder eine reduzierte Katecholaminsensitivität bzw. erniedrigte Plasmakatecholaminkonzentrationen denkbar. Umgekehrt könnte demnach eine gesteigerte Sympathikusaktivität, wie sie durch die Parameter der Ruheherzfrequenz und der Herzfrequenzvariabilität während der Regenerationsphase bei TN1 bestätigt werden konnte, bzw. eine erhöhte Katecholaminsensitivität oder eine erhöhte Plasmakatecholaminkonzentration die erhöhten Laktatwerte bei Test 3 erklären. Die gleichzeitig um 6 Schläge pro Minute erhöhte maximale Herzfrequenz des Sportlers ist nach Zavorsky (2000) typisch für Tapering- bzw. Regenerationsphasen sowie für eine erniedrigte maximale Sauerstoffaufnahme-fähigkeit.

Ein reduziertes Leistungsvermögen als ursächlich für den Laktatanstieg und die erhöhte maximale Herzfrequenz beim letzten Test des Teilnehmers anzusehen, ist aufgrund des geringeren Anstrengungsempfindens des Sportlers dennoch auszuschließen.

## TN2

Die erreichte Maximalgeschwindigkeit beim ersten Leistungstest am 8.8.08 kann aufgrund des niedrigen Borg-Wertes von 15 nicht als maximale Leistungsfähigkeit bewertet werden, dient jedoch als Richtwert für die folgenden Tests. Die als vordefinierter Diagnoseparameter für eine Überbelastung genannte Leistungsminderung von mindestens 10 % sollte bei gleich hohem Borg-Wert diagnostisch verwertbar sein, bei entsprechend höherem Anstrengungsempfinden könnte möglicherweise schon eine Leistungsstagnation als kritisch eingestuft werden.

Der Teilnehmer verzeichnete während des Deutschlandlaufs eine deutliche Geschwindigkeitsabnahme von der ersten bis zur achten Etappe (-23 %), die höher ausfiel als der durchschnittliche Geschwindigkeitsabfall aller die jeweiligen Etappen erfolgreich beendenden Läufer in diesem Zeitraum (-13,5 %). Der Anstieg des Anstrengungsempfindens auf der zweiten Tagesetappe um drei Borg-Punkte könnte für eine zu hohe Laufgeschwindigkeit auf der ersten Etappe sprechen. Ab der fünften Etappe des Deutschlandlaufs gab der Teilnehmer Verletzungsprobleme an, die letztlich zum Abbruch des Laufs während der achten Etappe führten und die Durchführung des zweiten Leistungstests unmöglich machten. Aufgrund des Vorliegens alternativer Erklärungen (muskuläre Probleme am linken Oberschenkel, Knochenhautentzündung sowie Reizungen beider Achillessehnen) kann der Abbruch des Laufs nicht als diagnostisches Kriterium einer Überbelastung bewertet werden. Dennoch bleibt diskussionswürdig, inwiefern die hohe Anfangsgeschwindigkeit des Läufers und eine damit einhergehende Ermüdung auch das Auftreten der Verletzungen mit bedingt haben könnten.

Der letzte Leistungstest am 30.9.08, zwei Wochen nach Abbruch des Deutschlandlaufs, ist vor dem Hintergrund eines geringfügig reduzierten Anstrengungsempfindens (Borg-Wert: 14) und nahezu identischer Motivation im Vergleich zum Eingangstest zu bewerten. Der Test zeigt eine Leistungsminderung von 10,5 % in Verbindung mit deutlich reduzierten maximalen Laktatwerten (minus 38 %) und einer um 5 Schläge pro Minute erniedrigten maximalen Herzfrequenz und erfüllt damit zwei der vordefinierten diagnoserelevanten Kriterien einer Überbelastung. Die von Zavorsky (2000) beschriebene Neigung der maximalen Herzfrequenz, bei gesteigerter maximaler Sauerstoffaufnahme-fähigkeit reduzierte Werte aufzuweisen, kann in vorliegendem Fall aufgrund der diagnostizierten Leistungsminderung nicht als plausibel erachtet werden. In Anlehnung an Studienergebnisse von Bosquet et al. (2001), Coutts, Reaburn et al. (2007), Halson et al. (2002), Hedelin, Kenttä et al. (2000), Jeukendrup et al. (1992) und Uusitalo et al. (1998), die allesamt als Überbelastung oder Übertrainingssyndrom diagnostizierte Leistungsminderungen in Zusammenhang mit reduzierten maximalen Herzfrequenzwerten bei Kanuten, Radsportlern, Rugbyspielern und Läufer(innen) nachweisen konnten, ist die reduzierte maximale Herzfrequenz des Sportlers beim 3. Test als kritisch einzustufen.

Ein Vergleich der submaximalen Herzfrequenz- und Laktatwerte der beiden Leistungstests zeigt, dass am Ende der ersten vier Belastungsstufen nahezu identische Werte vorlagen, sodass nicht auszuschließen ist, dass der Teilnehmer beim abschließenden Test aufgrund der während des Deutschlandlaufs aufgetretenen Verletzungen möglicherweise noch weniger an seine Leistungsgrenze gegangen ist als beim ersten Test, was auch der angegebene Borg-Wert vermuten ließe. Meeusen et al. (2006) bewerten zwar konstante submaximale und reduzierte maximale Laktatwerte als konsistentes und nahezu übereinstimmendes Merkmal eines Übertrainingssyndroms, bezweifelt werden muss jedoch, ob es sich bei den gemessenen Werten tatsächlich um die maximalen Werte des Sportlers handelt. In jedem Fall gelang es ihm beim letzten Test nicht, seine anaeroben Energiereserven voll auszuschöpfen.

Foster et al. (1988) sehen entleerte Glykogenspeicher als wahrscheinlichste Ursache für reduzierte maximale Laktatwerte an (vgl. Meeusen et al., 2006), dennoch konnten Jeukendrup et al. (1992) trotz gefüllter Glykogenspeicher reduzierte maximale Laktatwerte bei Sportlern nach hohen Belastungsreizen nachweisen (vgl. Jeukendrup & Hesselink, 1994). Alternativ könnten auch eine

eingeschränkte Leistungsfähigkeit des Sportlers und damit verbunden eine reduzierte Belastungszeit, eine reduzierte sympathische Aktivität des autonomen Nervensystems oder eine reduzierte Plasmakatecholaminkonzentration bzw. Katecholaminsensitivität (vgl. Jeukendrup & Hesselink, 1994) mögliche Ursache für die reduzierten Laktatwerte des Teilnehmers darstellen. Eine reduzierte sympathische Aktivität konnte für TN2 anhand der Parameter der Herzfrequenzvariabilität während der Regenerationsphase allerdings nicht nachgewiesen werden. Die Möglichkeit entleerter Glykogenspeicher erscheint zwei Wochen nach Beendigung des Laufs als unwahrscheinlich (vgl. Horn, 2003). de Marées (2003) geht davon aus, dass die Auffüllung der Speicher mit einer Rate von 5 bis 7 % pro Stunde erfolgt. Studienergebnisse von Sherman, Costill, Fink, Hagerman, Armstrong und Murray (1983), die nachweisen konnten, dass die Resynthese von Muskelglykogen bis zu zehn Tage nach einem 43km-Lauf beeinträchtigt sein kann, lassen jedoch darauf schließen, dass dieser Fall nicht komplett auszuschließen ist.

### TN3

Der Teilnehmer TN3 brach den Deutschlandlauf bereits am dritten Wettkampftag ab und gab als Grund dafür eine unzureichende Ernährung an. Ausgehend von den Leistungsdaten, die als Normwerte festgelegt wurden, ist es nicht gerechtfertigt, die im Anschluss an den Lauf mittels Leistungstest erzielte Laufleistung am 12.9.08 als Leistungsminderung einzustufen. Diese liegt lediglich 2,5 % unterhalb der Geschwindigkeit des Eingangstests und dürfte sich daher im Bereich normaler Tag-zu-Tag-Schwankungen bewegen.

Als kritisch einzustufen ist allerdings die gegenüber dem Eingangstest um 15 Schläge pro Minute reduzierte maximale Herzfrequenz bei TN3, eines der vordefinierten diagnoserelevanten Kriterien einer Überbelastung konnte somit nachgewiesen werden. Dem Sportler gelang es beim zweiten Leistungstest trotz maximaler Anstrengung nicht mehr, seine maximale Herzfrequenz auch nur annähernd zu erreichen und somit sein maximales Leistungspotenzial abzurufen. Nach Meeusen et al. (2006) könnte dies das Resultat einer reduzierten sympathischen Aktivität des autonomen Nervensystems (vgl. Lehmann et al., 1991), einer gesteigerten parasympathischen Aktivität oder einer reduzierten Reaktion der Zellen auf Katecholamine oder Veränderungen adrenerger Rezeptoraktivitäten sein (vgl. Zavorsky, 2000). Eine reduzierte Belastungszeit als Erklärungsursache bzw. ein Zusammenhang mit einem trainingsinduzierten und gesteigerten Schlagvolumen des Herzens (vgl. Hedelin, Kenttä et al., 2000) oder mit einer erhöhten Leistungsfähigkeit, wie ihn Zavorsky (2000) vermutet, können in vorliegendem Fall ausgeschlossen werden.

Hedelin, Kenttä et al. (2000) konnten in eigenen Untersuchungen reduzierte maximale Herzfrequenzwerte bei Ausdauersportlern im Anschluss an eine Erhöhung des Belastungsumfangs nachweisen, die mit einer leicht reduzierten Leistungsfähigkeit der Athleten einhergingen. Die Autoren gehen daher davon aus, dass reduzierte maximale Herzfrequenzwerte einen Ermüdungszustand bzw. eine Überbelastung anzeigen (vgl. Bosquet et al., 2001; Coutts, Reaburn et al., 2007; Halson et al., 2003; Jeukendrup et al., 1992; Snyder et al., 1995; Uusitalo et al., 1998).

Auch bei ausbleibenden Leistungsminderungen im Anschluss an Trainingsinterventionen in Form von erhöhten Belastungsumfängen bei Ausdauersportlern fanden einige Autoren reduzierte maximale Herzfrequenzwerte (vgl. Bosquet et al., 2001; Costill et al., 1988; Lehmann, Baumgartl et al., 1992; Saldanha et al., 1997; Verde et al., 1992). Costill et al. (1988) dokumentierten bei hochtrainierten Schwimmern nach einer zehntägigen Trainingsintervention konstante Schwimm-

leistungen sowie um 6 Schläge pro Minute reduzierte maximale Herzfrequenzwerte in Verbindung mit deutlich reduzierten Muskelglykogenspeichern, wie sie bei TN3 aufgrund mangelhafter Nahrungsaufnahme möglich erscheinen. Ein ursächlicher Zusammenhang zwischen reduzierten Glykogenspeichern während des Deutschlandlaufs und der reduzierten maximalen Herzfrequenz beim zweiten Leistungstest bei TN3 erscheint auf der Grundlage bisheriger Untersuchungen dennoch unwahrscheinlich (vgl. Roeykens et al., 1998; Snyder et al., 1995). Bei entleerten Glykogenspeichern wäre vielmehr ein reduzierter maximaler Laktatwert zu erwarten gewesen (vgl. Costill et al., 1988; Foster et al., 1988; Fry et al., 1991; Roeykens et al., 1998; Snyder et al., 1995), dieser ist beim zweiten Test im Vergleich zum Eingangstest jedoch nahezu identisch.

Nach Horn (2003) erfolgt die Füllung entleerter Glykogenspeicher infolge umfangreicher Ausdauerbelastungen nach 1 bis 3 Tagen (vgl. de Marées, 2003), Sherman et al. (1983) konnten allerdings nachweisen, dass die Resynthese von Muskelglykogen auch noch bis zu zehn Tage nach einem 43 km-Lauf beeinträchtigt sein kann. Es ist also denkbar, dass entleerte Glykogenspeicher nicht nur die Laufleistung des Teilnehmers während des Deutschlandlaufs, sondern auch dessen maximale Leistungsfähigkeit beim zweiten Stufentest negativ beeinträchtigt haben könnten. Snyder et al. (1995) gehen davon aus, dass ein Glykogenmangel die sportliche Leistungsfähigkeit vor allem bei Intensitäten zwischen 65 und 85 % der maximalen Sauerstoffaufnahmefähigkeit negativ beeinflusst.

Auch die submaximalen Herzfrequenzwerte des Sportlers sind während des zweiten Tests gegenüber dem Eingangstest reduziert, was auf einen verbesserten Trainingszustand hinweisen könnte (vgl. Zavorsky, 2000), der jedoch anhand der erzielten Maximalleistung ausgeschlossen werden kann. Ähnliche Ergebnisse finden sich bei Bosquet et al. (2001), Costill et al. (1988), Lehmann, Baumgartl et al. (1992), Snyder et al. (1995) und Uusitalo et al. (1998), jedoch unabhängig davon, ob die Leistungsfähigkeit konstant blieb (Costill et al., 1988; Lehmann, Baumgartl et al., 1992; Snyder et al., 1995) oder abfiel (Bosquet et al., 2001; Uusitalo et al., 1998). Das am zweiten und dritten Wettkampftag deutlich erhöhte Anstrengungsempfinden von 17 bzw. 19 Borg-Punkten lässt auf eine Kombination von Belastungsumfang und Belastungsintensität schließen, die ein erfolgreiches Absolvieren eines Ultramarathons wie den Deutschlandlauf unmöglich macht und für den Sportler eine Überforderung darstellte. Möglich erscheint, dass die hohen Werte zumindest teilweise einer mangelhaften Ernährung und damit einer Abnahme des Glykogengehalts der Muskulatur zuzuschreiben sind (vgl. Armstrong & VanHeest, 2002; Costill et al., 1988). Für diese Annahme sprechen die persönlichen Angaben des Teilnehmers in einem Fragebogen, der in den ersten Tagen nach Beendigung des Deutschlandlaufs bearbeitet wurde. Der Teilnehmer machte deutlich, dass die täglich konsumierten geschätzten 7000 kcal in etwa 70 % dessen entsprochen haben, was sein Körper zur Bewältigung der Tagesetappen benötigt habe. Als zusätzliche das Leistungsvermögen einschränkende Faktoren während des Wettkampfes nannte TN3 Verdauungsprobleme sowie Schlafstörungen, Symptome, die Fry et al. (1991) physiologischen Funktionsstörungen während Überbelastungen zuschreiben.

Trotz einer eingeschränkten Befindlichkeit sowie auftretenden Veränderungen der Herzfrequenzvariabilität und Ruheherzfrequenz erreicht der Sportler beim letzten Laktatleistungstest, 19 Tage nach Beendigung des Deutschlandlaufs, eine Leistungssteigerung von gut 7 % im Vergleich zum Eingangstest und einen um über 100 % erhöhten maximalen Laktatwert. Dieser weist darauf hin,



dass es dem Sportler beim letzten Test besser gelang, sein Leistungspotenzial voll auszu-schöpfen. Möglicherweise hat erst zu diesem Zeitpunkt eine vollständige Wiederauffüllung der Glykogenspeicher stattgefunden. Zu hinterfragen ist jedoch, warum beim ersten Test der erreichte maximale Laktatwert ein solch geringes Niveau aufwies und ob aufgrund der schlechten Ernährung und der hohen Arbeitsbelastung des Sportlers auch zu diesem Zeitpunkt reduzierte Glykogenspeicher leistungslimitierend gewirkt haben könnten.

Das Erreichen der maximalen Herzfrequenz von Test 1 ist nach Zavorsky (2000) typisch für Tapering- bzw. Regenerationsphasen und geht in diesem Fall mit einer Leistungssteigerung ein-her.

#### *TN4*

Sowohl die Entwicklung der Laufgeschwindigkeit des Teilnehmers während des Deutschlandlaufs als auch dessen Angaben zum Anstrengungsempfinden lassen die Vermutung zu, dass der Gesamtbelastungsumfang des Wettkampfes für TN4 eine Überforderung darstellte und somit nicht tolerierbar war. Die Laufgeschwindigkeit nahm mit der Dauer des Laufes ab und lag am letzten bewältigten Etappentag (Tag 7) um 21 % unterhalb der Geschwindigkeit des ersten Tages. Zu Beginn der achten Etappe brach der Teilnehmer den Deutschlandlauf aufgrund von Verletzungs-problemen ab. Parallel zur abfallenden Laufgeschwindigkeit stieg das Anstrengungsempfinden des Teilnehmers an, der auf der dritten, sechsten und siebten Wettkampfetappe Borg-Werte zwischen 17 und 19 angab.

Die diversen aufgetretenen Verletzungen könnten eine mögliche Erklärung sowohl für das erhöhte subjektive Anstrengungsempfinden als auch für die reduzierte Laufgeschwindigkeit darstellen. An sämtlichen sieben Wettkampftagen vermerkte der Teilnehmer Verletzungsprobleme in den Wett-kampfprotokollen bzw. Befindlichkeitsfragebögen.

Der Sportler gab dennoch im ersten Fragebogen nach Beendigung des Deutschlandlaufs an, dass er sich nachts ausreichend von den einzelnen Tagesetappen habe erholen können. Insgesamt habe er jedoch leicht über seinem aktuellen Leistungsvermögen laufen müssen und am dritten Wettkampftag verspürte er einen Leistungseinbruch, der nicht mit Verletzungsproblemen erklärt wurde. Der Borg-Wert dieses Tages (19) zeigt eine Ausbelastung des Sportlers an, die den weiteren Wettkampfverlauf negativ beeinflusst haben könnte, möglicherweise auch die bereits vorhandenen Verletzungsprobleme.

TN4 fühlte sich am nächsten Tag zwar wieder erholt, das erneut hohe Anstrengungsempfinden auf der vierten Etappe (Borg-Wert: 18) lässt jedoch schon zu diesem Zeitpunkt eine erfolgreiche Beendigung des Laufs zweifelhaft erscheinen.

Festzuhalten bleibt, dass die Borg-Werte ein Anstrengungsempfinden anzeigen, das einen deutlich zu hohen Belastungsumfang bzw. eine zu hohe Belastungsintensität für den Teilnehmer vermuten lässt, um den 17-tägigen Ultramarathon erfolgreich durchzustehen. Der Trainingsrückstand des Sportlers und dessen Verletzungsprobleme wirkten sich zusätzlich negativ auf die Wettkampf-zufriedenheit und Motivation aus.

#### *TN5*

Die Abnahme der Laufgeschwindigkeit innerhalb der ersten acht Etappen um 25 % gegenüber dem ersten Etappentag dürfte einer zu hohen Geschwindigkeit zu Wettkampfbeginn geschuldet

sein, möglicherweise jedoch auch einer Knochenhautentzündung, die den Teilnehmer vom fünften bis zum 13. Wettkampftag beeinträchtigte. Die deutliche Abnahme der Laufgeschwindigkeit am letzten Wettkampftag erklärt sich mit dem während dieser Etappe aufgetretenen Muskelfaserriss des Teilnehmers.

Lag ein Leistungseinbruch während der ersten acht Wettkampftage vor, als es gleichzeitig zu einem stetigen Anstieg der Borg-Werte kam, so konnte sich der Sportler von diesem im weiteren Wettkampfverlauf wieder erholen.

Die Verletzung des Teilnehmers machte die Durchführung eines zweiten und dritten Leistungstests unmöglich.

#### *TN6*

Bei TN6 ist im Verlauf des Deutschlandlaufs bis zum Abbruch nach dem achten Wettkampftag eine deutliche Abnahme der Laufgeschwindigkeit erkennbar. Diese liegt auf der letzten vollständig absolvierten Etappe um 29 % unter der Laufgeschwindigkeit während der ersten Tagesetappe. Es ist anzunehmen, dass der Sportler an den ersten beiden Tagen ein zu hohes Lauftempo wählte und diesem im weiteren Wettkampfverlauf Tribut zollen musste.

Die Interpretation der Leistungstests muss ohne vorliegende Testprotokolle vorgenommen werden, da der Sportler nicht sämtliche Unterlagen bearbeitete. Somit fehlen in diesem Fall weitere hilfreiche Informationen zum körperlichen Befinden, zur Belastungsverträglichkeit und Motivation sowie zum Anstrengungsempfinden.

Aufgrund von Ödemen in den Beinen musste der zweite Leistungstest von TN6 verschoben werden und konnte erst elf Tage nach Abbruch des Deutschlandlaufs durchgeführt werden. Die diagnostizierte Leistungsminderung von 4 % ist als geringfügig einzustufen, geht jedoch mit einer um 4 Schläge pro Minute reduzierten maximalen Herzfrequenz und einem um 12 % reduzierten maximalen Laktatwert einher. Keines der vordefinierten Kriterien für eine Überbelastung (Leistungsminderung von mindestens 10 %, Abfall des maximalen Laktatwerts beim Leistungstest um mindestens 20 %, Abfall der maximalen Herzfrequenz um mindestens 10 Schläge pro Minute) konnte nachgewiesen werden.

Beim dritten Leistungstest, der weitere vier Tage später durchgeführt wurde, konnte wie beim zweiten Test eine maximale Laufgeschwindigkeit von 15,4 km/h, eine im Vergleich zum ersten Test um 3 Schläge pro Minute reduzierte maximale Herzfrequenz sowie ein um 27 % reduzierter maximaler Laktatwert dokumentiert werden.

Zwar zeigt die maximale Herzfrequenz nur geringfügig reduzierte Werte an, jedoch sehen Bosquet et al. (2001), Coutts, Reaburn et al. (2007) Halson et al. (2002), Hedelin, Kenttä et al. (2000), Jeukendrup et al. (1992) und Uusitalo et al. (1998) allesamt einen Zusammenhang zwischen Leistungsminderungen in Verbindung mit Überbelastungen und reduzierten maximalen Herzfrequenzwerten, die die Autoren bei Kanuten, Radsportlern, Rugbyspielern und Läufer(innen) nachweisen konnten.

Die deutlich reduzierte maximale Laktatbildung bei Test 3 entspricht einem der genannten Diagnoseparameter für eine Überbelastung. Vor dem Hintergrund der diagnostizierten Leistungsminderung muss der reduzierte maximale Laktatwert als kritisch eingestuft werden (vgl. Meeusen et al., 2006).

Als mögliche Erklärungen kommen ein aufgrund der Belastungen des Deutschlandlaufs reduziertes Glykogendepot (vgl. Foster et al., 1988; Meeusen et al., 2006; Sherman et al., 1983) – nach Horn (2003) und de Marées (2003) erscheint dies jedoch als unwahrscheinlich – ebenso infrage wie eine eingeschränkte Leistungsfähigkeit des Sportlers und damit verbunden eine reduzierte Belastungszeit. Eine reduzierte sympathische Aktivität des autonomen Nervensystems als Ursache reduzierter Laktatwerte anzusehen, wie von Jeukendrup und Hesselink (1994) postuliert (vgl. Zavorsky, 2000), lässt sich in vorliegendem Fall anhand der Werte der Herzfrequenzvariabilität und Ruheherzfrequenz nicht bestätigen. Weiterhin möglich erscheint eine erniedrigte Plasmakatecholaminkonzentration (Jeukendrup & Hesselink, 1994) – in jedem Fall stehen die erniedrigten maximalen Laktatwerte in Zusammenhang mit einer verminderten Leistungsfähigkeit und könnten daher ein für den Teilnehmer diagnoserelevantes Kriterium einer Überbelastung sein. Eine verbesserte Fähigkeit des Laktatabbaus – wie sie oft in Zusammenhang mit reduzierten Laktatwerten postuliert wird – ist für TN6 jedoch anhand der vorliegenden Leistungsparameter auszuschließen.

Tabelle 35 fasst die Ergebnisse der Leistungstests für die Teilnehmer TN1, TN2, TN3, TN5 und TN6 zusammen, rot markiert sind jene Werte, die als diagnoserelevante Parameterveränderungen für eine Überbelastung vordefiniert wurden.

Tab. 35: Ergebnisse der Leistungstests von TN1 bis TN6.

<b>TN1</b>	<b>maximale Leistung</b>	<b>maximale Herzfrequenz</b>	<b>maximaler Laktatwert</b>
Leistungstest Normwertbestimmung	15,4 km/h	159 S/min	6,1 mmol/l
Leistungstest Deutschlandlauf	14,8 km/h	159 S/min	6,8 mmol/l
Leistungstest Regenerationsphase	15,4 km/h	165 S/min	10 mmol/l
<b>TN2</b>	<b>maximale Leistung</b>	<b>maximale Herzfrequenz</b>	<b>maximaler Laktatwert</b>
Leistungstest Normwertbestimmung	17,2 km/h	185 S/min	6,3 mmol/l
Leistungstest Deutschlandlauf	-	-	-
Leistungstest Regenerationsphase	15,4 km/h	180 S/min	3,89 mmol/l
<b>TN3</b>	<b>maximale Leistung</b>	<b>maximale Herzfrequenz</b>	<b>maximaler Laktatwert</b>
Leistungstest Normwertbestimmung	13,03 km/h	160 S/min	3,8 mmol/l
Leistungstest Deutschlandlauf	12,7 km/h	145 S/min	3,9 mmol/l
Leistungstest Regenerationsphase	14 km/h	160 S/min	8,3 mmol/l
<b>TN5</b>	<b>maximale Leistung</b>	<b>maximale Herzfrequenz</b>	<b>maximaler Laktatwert</b>
Leistungstest Normwertbestimmung	16 km/h	171 S/min	6,3 mmol/l
Leistungstest Deutschlandlauf	-	-	-
Leistungstest Regenerationsphase	-	-	-
<b>TN6</b>	<b>maximale Leistung</b>	<b>maximale Herzfrequenz</b>	<b>maximaler Laktatwert</b>
Leistungstest Normwertbestimmung	16,0 km/h	179 S/min	7,82 mmol/l
Leistungstest Deutschlandlauf	15,4 km/h	175 S/min	6,90 mmol/l
Leistungstest Regenerationsphase	15,4 km/h	176 S/min	5,70 mmol/l

### 5.2.3 Befindlichkeit

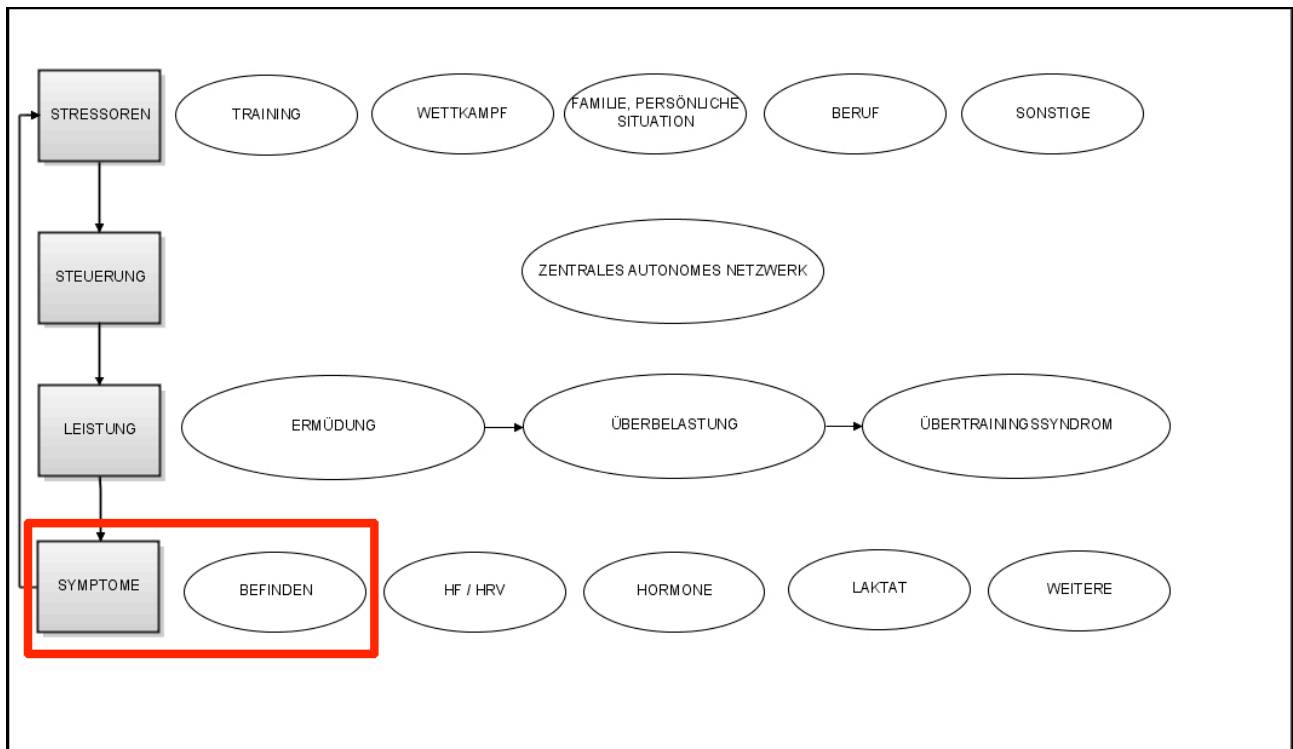


Abb. 34: Einfluss der unterschiedlichen Belastungsphasen auf die Befindlichkeit

Die Beschreibung der Parameterverläufe auf Symptomebene erfolgt, wie die Darstellung der Stressoren und Leistungsparameter, einzelfallbezogen und getrennt nach den drei Messphasen Normwertbestimmung, Deutschlandlauf und Regeneration. Zunächst werden die Mittelwerte der einzelnen Befindlichkeitsparameter der jeweiligen Teilnehmer als Säulendiagramm dargestellt, anschließend erfolgt die optische Aufbereitung im Zeitreihendesign als Verlauf der Mittelwerte zusammengefasster positiver und negativer Befindlichkeitsparameter. In Kapitel 5.2.3.7 werden die Ergebnisse abschließend zusammengefasst und diskutiert.

#### 5.2.3.1 TN1

##### Normwertbestimmung

Die Fragebögen der Befindlichkeitsskalen (BFS) wurden täglich ausgefüllt, in die Normwertbestimmung einbezogen wurden sämtliche Fragebögen vom 22.6.08 bis zum 16.7.08 mit Ausnahme des 10.7.08 (unvollständig), 12.7.08, 13.7.08 und 14.7.08 (die Befindlichkeit negativ beeinflussende Ereignisse „Workshop“ und „Leistungstest“).

Die Mittelwerte der restlichen Fragebögen zeigen durchgehend niedrige Werte für die negativen Kategorien Ärger (1,4), Erregtheit (1,8), Energielosigkeit (1,9) und Deprimiertheit (1,5). Die Mittelwerte der positiven Kategorien Aktiviertheit (3,8), gehobene Stimmung (4,0) und Ruhe (3,9) sind durchweg hoch.

Abbildung 35 zeigt das bei hohen Werten für die positiven Parameter und bei niedrigen Werten für die negativen Parameter übliche Eisbergprofil.

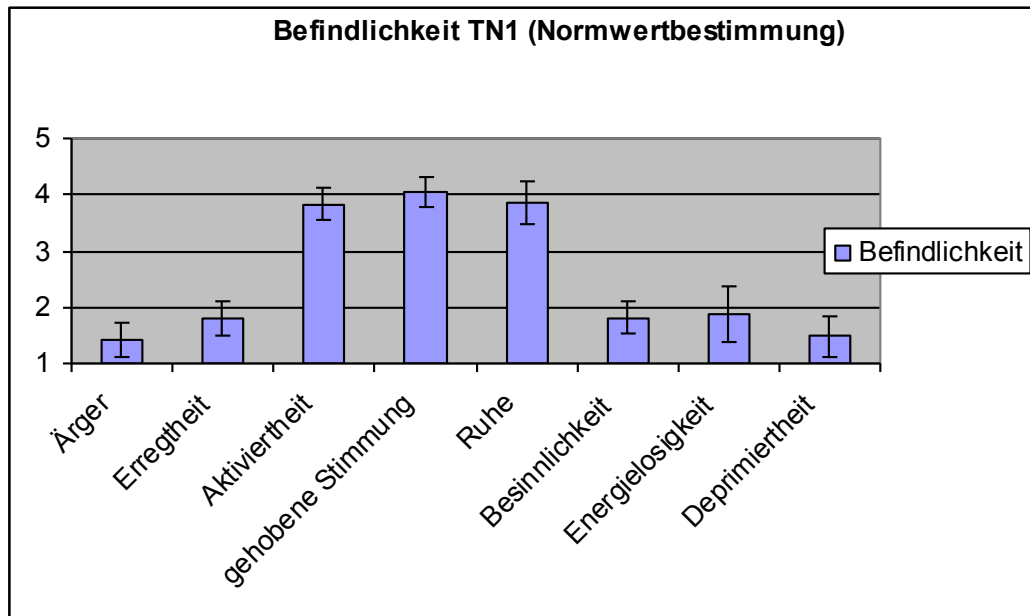


Abb. 35: Mittelwerte der einzelnen Befindlichkeitsparameter während der Normwertbestimmung TN1

Keiner der vier negativen Parameter erreicht maximale Werte von 3 oder mehr. Lediglich an einem Tag (25.6.08, kein negatives Ereignis) erreicht die Energielosigkeit einen Wert von 2,8. Die niedrigsten Werte für die positiven Kategorien Aktiviertheit, gehobene Stimmung und Ruhe liegen bei 2,6 bzw. 3,4 (Ruhe, 25.6.08 und 29.6.08), 3,4 (gehobene Stimmung, 25.6.08) und 3 (Aktiviertheit, 25.6.08), ansonsten unterschreitet keine Kategorie den Wert 3,6.

Der für die erste Messphase errechnete Mittelwert der zusammengefassten drei positiven Kategorien der Befindlichkeitsskalen beträgt 3,91, der Mittelwert der zusammengefassten vier negativen Parameter 1,65. Mittels Subtraktion der Standardabweichung von 0,27 vom Mittelwert der positiven Parameter und Addition der Standardabweichung von 0,27 zum Mittelwert der negativen Parameter ergeben sich ein unterer Grenzwert von 3,65 für die positiven Parameter sowie ein oberer Grenzwert von 1,92 für die negativen Parameter.

Werte innerhalb dieses Bereiches werden als Normwerte bezeichnet. Ein Überschreiten des Grenzwertes für den Mittelwert der negativen Parameter bzw. ein Unterschreiten des Grenzwertes für den Mittelwert der positiven Parameter über einen Zeitraum von mindestens drei aufeinanderfolgenden Tagen wird als kritisches Ereignis definiert.

Abbildung 36 zeigt den Verlauf der positiven und negativen Befindlichkeitsparameter bei TN1 während der Normwertbestimmung.

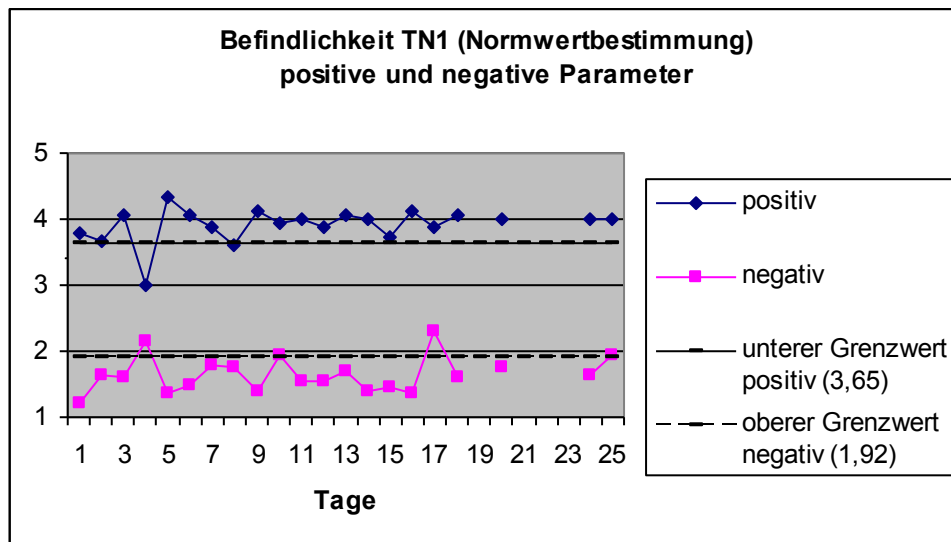


Abb. 36: Verlauf der Mittelwerte positiver und negativer Befindlichkeitsparameter während der Normwertbestimmung TN1

#### Deutschlandlauf

Die einzelnen Parameter der Befindlichkeit zeigen ähnliche Mittelwerte wie während der Normwertbestimmung mit hohen Kennwerten für die positiven Parameter (Aktiviertheit: 3,9; gehobene Stimmung: 4,0; Ruhe: 3,9) und niedrigen Kennwerten für die negativen Kategorien (Ärger: 1,3; Erregtheit: 2,0; Energielosigkeit: 2,0; Deprimiertheit: 1,7).

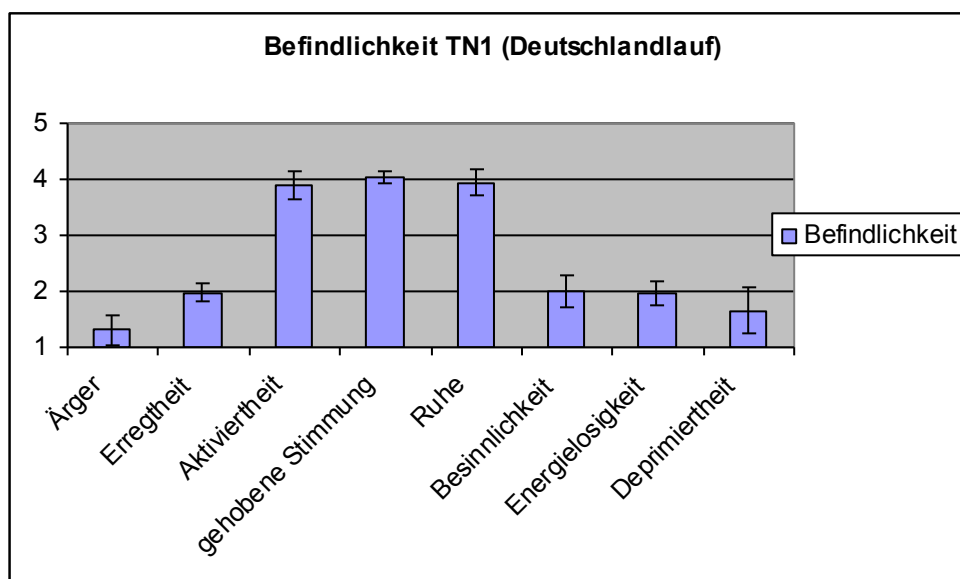


Abb. 37: Mittelwerte der einzelnen Befindlichkeitsparameter während des DL TN1

Für die weitere Interpretation der Befindlichkeitswerte wurden entsprechend der vordefinierten Normbereiche die Mittelwerte der drei positiven Kategorien sowie der vier negativen Kategorien für jeden Wettkampftag zusammengefasst. Der auf die gesamte Wettkampfdauer bezogene Mittelwert der drei positiven Kategorien beträgt 4,0, der Mittelwert der vier negativen Kategorien 1,7.

Der Verlauf der Werte ist in Abbildung 38 dargestellt.

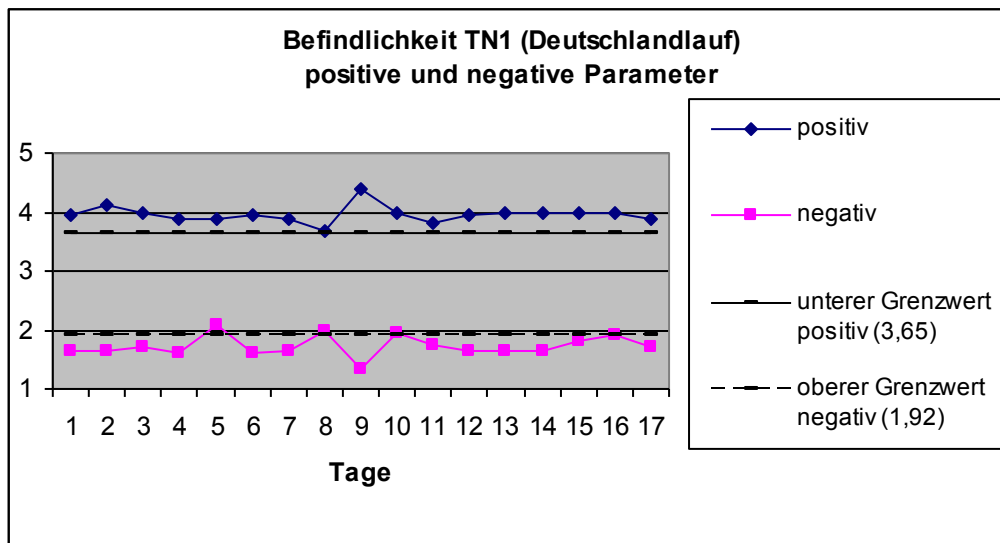


Abb. 38: Verlauf der Mittelwerte positiver und negativer Befindlichkeitsparameter während des DL TN1

Zu erkennen ist eine stabile Stimmungslage und keine Unterschreitung des vordefinierten unteren Grenzwertes 3,65 für den Mittelwert der positiven Kategorien sowie lediglich vereinzelte und tageweise Überschreitungen des Wertes 1,92 für die negativen Kategorien. Der Höchstwert der negativen Parameter am fünften Wettkampftag erklärt sich mit einem negativen Ereignis, ist also nicht auf die Wettkampfbelastung zurückzuführen.

Ansonsten bildet Datenpunkt 8 den gemessenen Tiefpunkt mit einem Mittelwert der positiven Parameter von 3,7 (Ruhe: 3,4; Aktiviertheit: 3,6; gehobene Stimmung: 4) und einem Mittelwert von 2 für die negativen Parameter (Ärger: 1,6; Erregtheit: 2,2; Energielosigkeit: 2,6; Deprimiertheit: 1,6).

Festzuhalten ist eine durchweg positive Grundstimmung, die sich im Rahmen der Normwerte bewegt.

### Regeneration

Die Befindlichkeitsmessungen wurden im Anschluss an den Deutschlandlauf vom 25.9. bis 16.10.08 erhoben, die Daten des 3.10.08 (9. Regenerationstag) wurden aufgrund der Angabe eines negativen Ereignisses aus dem Datensatz isoliert. Auch während der dritten Messphase zeigt sich, wie in Abbildung 39 dargestellt, ein Eisbergprofil mit hohen Werten für die positiven Parameter (Aktiviertheit: 4,0; gehobene Stimmung: 4,0; Ruhe: 4,0) und niedrigen Werten für die negativen Kategorien (Ärger: 1,5; Erregtheit: 1,9; Energielosigkeit: 1,8; Deprimiertheit: 1,7).



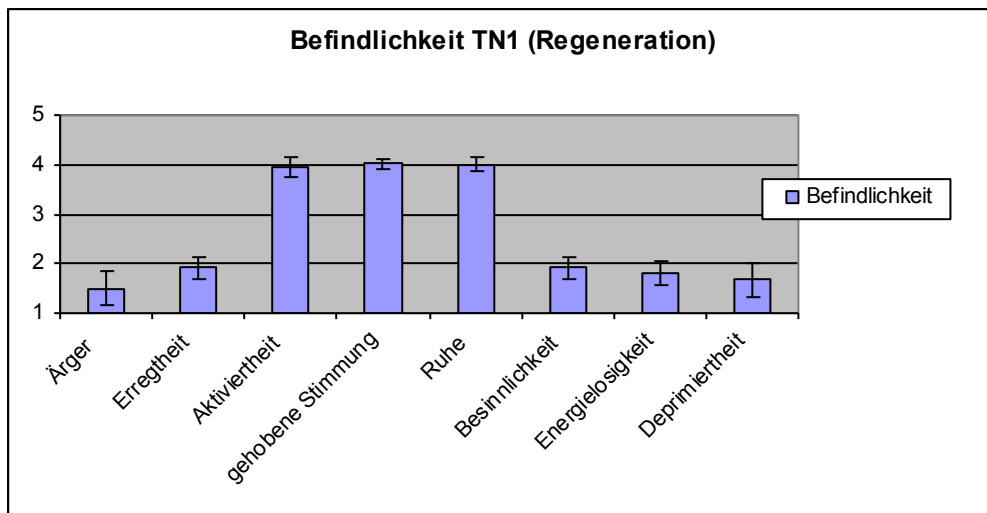


Abb. 39: Mittelwerte der einzelnen Befindlichkeitsparameter während der Regenerationsphase TN1

Der Mittelwert der drei positiven Kategorien der Befindlichkeitsskala liegt für die gesamte Regenerationsphase bei 4,0, der Mittelwert der vier negativen Kategorien bei 1,7. Insgesamt verhält sich die Befindlichkeit auch während dieser Messphase stabil. Auffällige Veränderungen der positiven Merkmale sind nicht erkennbar, jedoch überschreiten die Mittelwerte der negativen Parameter vom vierten bis achten Regenerationstag den oberen Grenzwert minimal und zeigen damit ein kritisches Ereignis an.

Abbildung 40 zeigt den Verlauf der positiven und negativen Befindlichkeitsparameter während der Regenerationsphase und das darin zu erkennende kritische Ereignis.

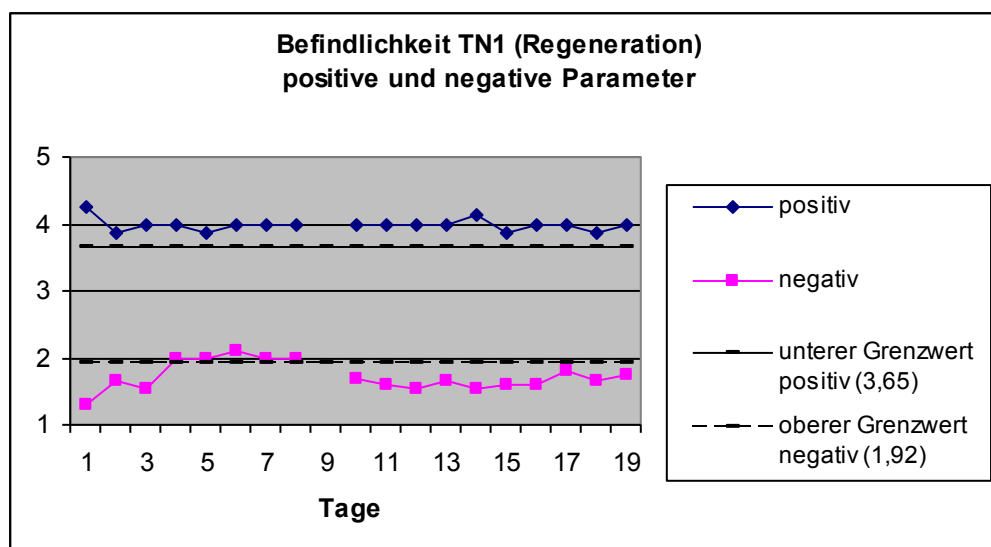


Abb. 40: Verlauf der Mittelwerte positiver und negativer Befindlichkeitsparameter während der Regenerationsphase TN1

### 5.2.3.2 TN2

#### Normwertbestimmung

Die Fragebögen der Befindlichkeitsskalen (BFS) wurden täglich ausgefüllt, in die Normwertbestimmung einbezogen wurden sämtliche Fragebögen vom 8.8.08 bis zum 21.8.08 mit Ausnahme des 9.8.08 (aufgrund eines die Befindlichkeit negativ beeinflussenden Ereignisses) sowie des 18.8.08 (unvollständig).

Die Mittelwerte der restlichen Fragebögen zeigen durchgehend niedrige Werte für die negativen Kategorien Ärger (1,1), Erregtheit (1,2), Energielosigkeit (1,3) und Deprimiertheit (1,1). Die Mittelwerte der positiven Kategorien Aktiviertheit (3,4), gehobene Stimmung (3,7) und Ruhe (3,5) sind durchweg hoch.

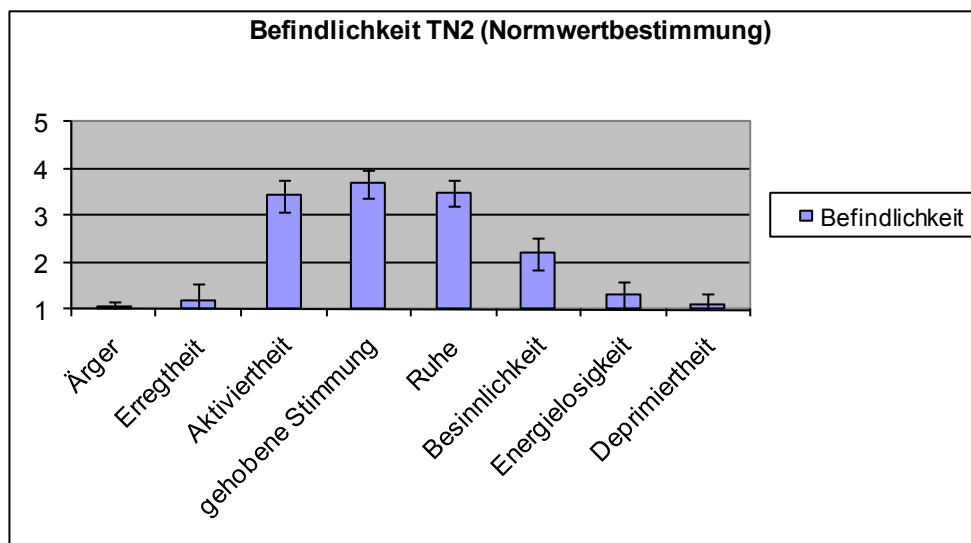


Abb. 41: Mittelwerte der einzelnen Befindlichkeitsparameter während der Normwertbestimmung TN2

Keine der vier negativen Kategorien erreicht maximale Werte von 2 oder mehr (Ausnahme 8.8.08, Erregtheit: 2,2). Der niedrigste Wert der positiven Kategorien Aktiviertheit, gehobene Stimmung und Ruhe liegt bei 2,8 für Aktiviertheit (10.8.08), ansonsten unterschreitet keine Kategorie den Wert 3.

Der für die Normwertbestimmung errechnete Mittelwert der zusammengefassten drei positiven Kategorien beträgt 3,53, der Mittelwert der zusammengefassten vier negativen Parameter 1,16. Mittels Subtraktion bzw. Addition der Standardabweichungen von 0,28 (positive Parameter) bzw. 0,22 (negative Parameter) ergeben sich ein unterer Grenzwert von 3,25 für die positiven Parameter sowie ein oberer Grenzwert von 1,38 für die negativen Parameter.

Werte innerhalb dieses Bereichs werden als Normwerte definiert. Ein Überschreiten des mittleren Grenzwertes für die negativen Parameter bzw. ein Unterschreiten des mittleren Grenzwertes für die positiven Parameter über einen Zeitraum von mindestens drei aufeinanderfolgenden Tagen wird als kritisches Ereignis definiert.

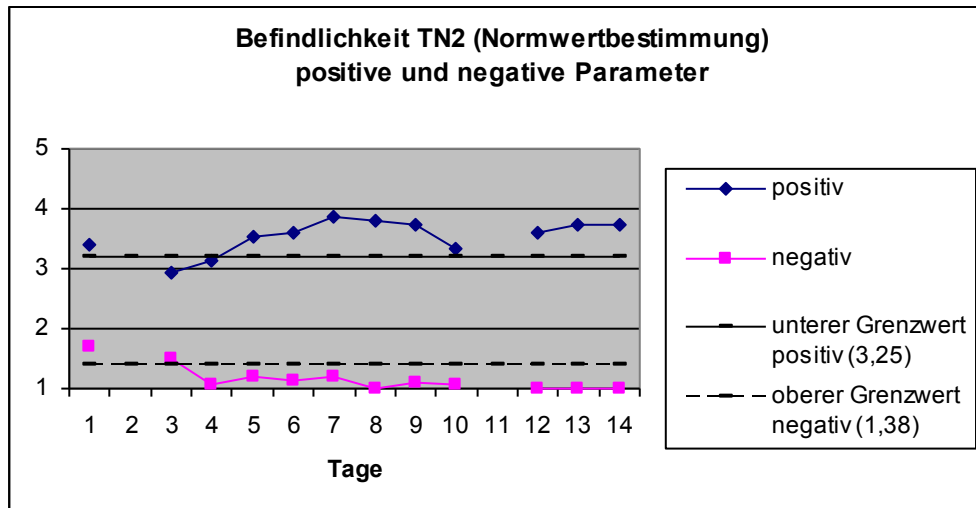


Abb. 42: Verlauf der Mittelwerte positiver und negativer Befindlichkeitsparameter während der Normwertbestimmung TN2

Auffällig ist, dass die Befindlichkeitsparameter während der zweiten Messwoche (15.8.08 – 21.8.08 bzw. 8.-14. Messtag) eine leichte Verbesserung gegenüber der ersten Messwoche zeigen, obwohl der Belastungsumfang dieser Trainingswoche deutlich über dem Jahresdurchschnitt liegt. Eine Überbelastung kann, geht man davon aus, dass eine Stimmungsverschlechterung ein entsprechender Indikator ist, für die Phase der Normwertbestimmung daher ausgeschlossen werden.

#### Deutschlandlauf

Die einzelnen Parameter der Befindlichkeit zeigen eine Beeinträchtigung während des Deutschlandlaufs im Vergleich zu den Normwerten an. Es kommt zu einem Anstieg des Mittelwerts des Parameters Erregtheit auf 1,9, entsprechend einer Steigerung um 60 % gegenüber dem Mittelwert während der Normwertbestimmung. Die Mittelwerte der Parameter Aktiviertheit (3,0), gehobene Stimmung (2,9) sowie Ruhe (2,8) fallen gegenüber der Normwertbestimmung um 12 % (Aktiviertheit) bzw. um 20 % (gehobene Stimmung, Ruhe) ab.

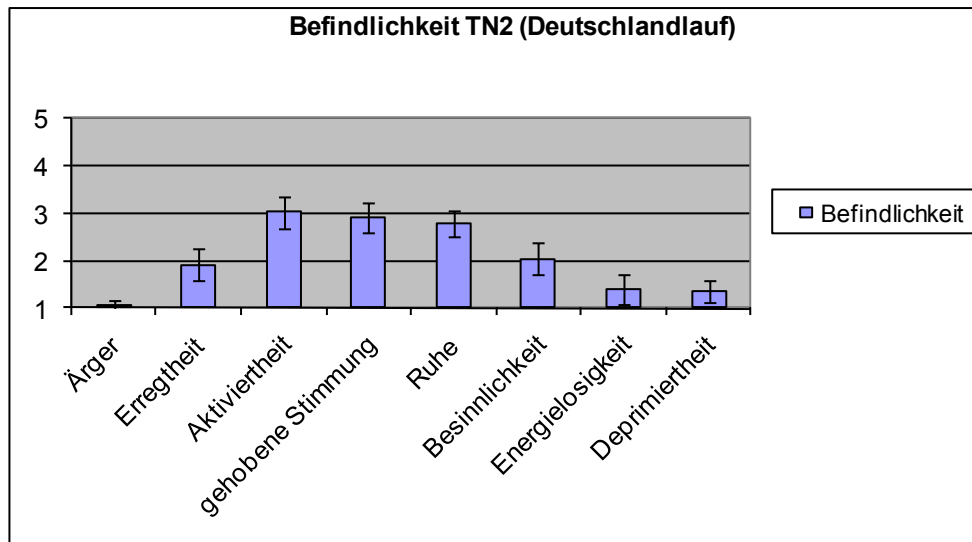


Abb. 43: Mittelwerte der einzelnen Befindlichkeitsparameter während des DL TN2

Für die weitere Interpretation der Befindlichkeitswerte wurden entsprechend der vordefinierten Normbereiche die Mittelwerte der drei positiven Kategorien sowie der vier negativen Kategorien für jeden Wettkampftag zusammengefasst. Der auf die gesamte Wettkampfdauer bezogene Mittelwert der drei positiven Kategorien beträgt 2,9, der Mittelwert der vier negativen Kategorien 1,4. Der Verlauf der Werte ist in Abbildung 44 dargestellt.

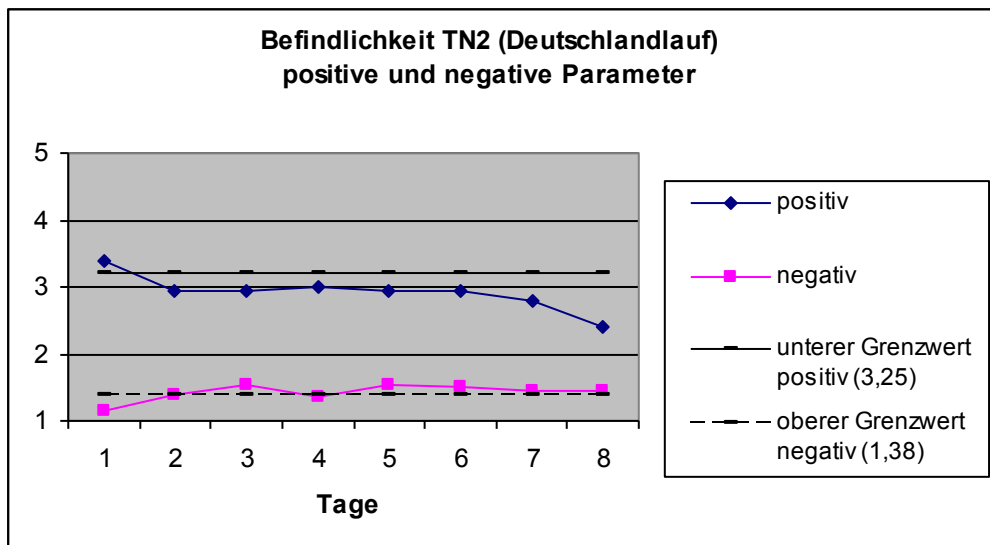


Abb. 44: Verlauf der Mittelwerte positiver und negativer Befindlichkeitsparameter während des DL TN2

Deutlich zu erkennen ist eine abfallende Tendenz des Mittelwerts der positiven Parameter der Befindlichkeit im Verlauf der Wettkampfphase. Diese lässt sich ab der fünften Etappe durch das Auftreten von Verletzungen erklären, die vom Teilnehmer selbst als negative Ereignisse benannt wurden. Auffallend ist auch eine deutliche Verminderung der positiven Parameter im Vergleich zu den Normwerten. Bereits ab dem zweiten Wettkampftag wird der als kritisch definierte untere Grenzbereich der positiven Parameter bis zum Abbruch des Laufes unterschritten.

Im Gegensatz zu den positiven Parametern zeigen die negativen Parameter geringfügigere Veränderungen, jedoch überschreiten auch diese ab dem fünften Wettkampftag den vordefinierten Grenzwert bis zum Abbruch des Laufes.

### Regeneration

Die Befindlichkeitsmessungen wurden im Anschluss an den Deutschlandlauf vom 16.9.08 bis 30.9.08 durchgeführt. Es zeigen sich ähnlich niedrige Werte für die negativen Parameter wie während der Normwertbestimmung, jedoch sind die positiven Parameter noch immer leicht reduziert (Aktiviertheit: 2,9; gehobene Stimmung: 3,1; Ruhe: 3,1).

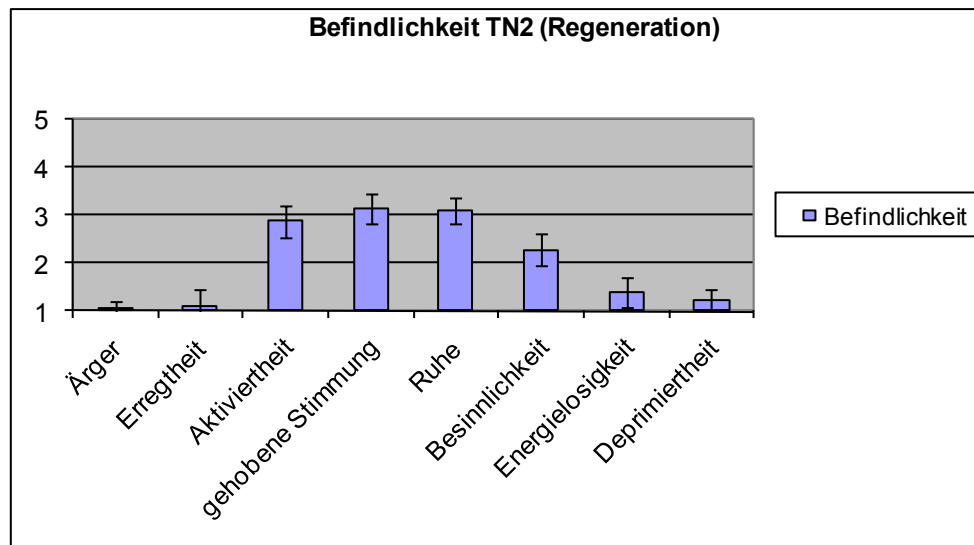


Abb. 45: Mittelwerte der einzelnen Befindlichkeitsparameter während der Regenerationsphase TN2

Der Mittelwert der drei positiven Kategorien der Befindlichkeitsskala liegt für die letzte Messphase bei 3,0, der Mittelwert der vier negativen Kategorien für dieses Zeitfenster bei 1,2. Zu Beginn der Regenerationsphase sind die positiven Befindlichkeitsparameter im Verhältnis zu den negativen Parametern stärker beeinträchtigt. Erst am siebten Regenerationstag wird der untere Grenzwert wieder überschritten, es liegt also ein kritisches Ereignis vor. Insgesamt zeigt sich eine Verbesserung des Gesamtbefindens des Teilnehmers im Verlauf der Regenerationszeit.

In einem abschließenden Fragebogen am 30.9.08 beschreibt sich der Teilnehmer als ausreichend erholt (körperliches Befinden: 80 %).

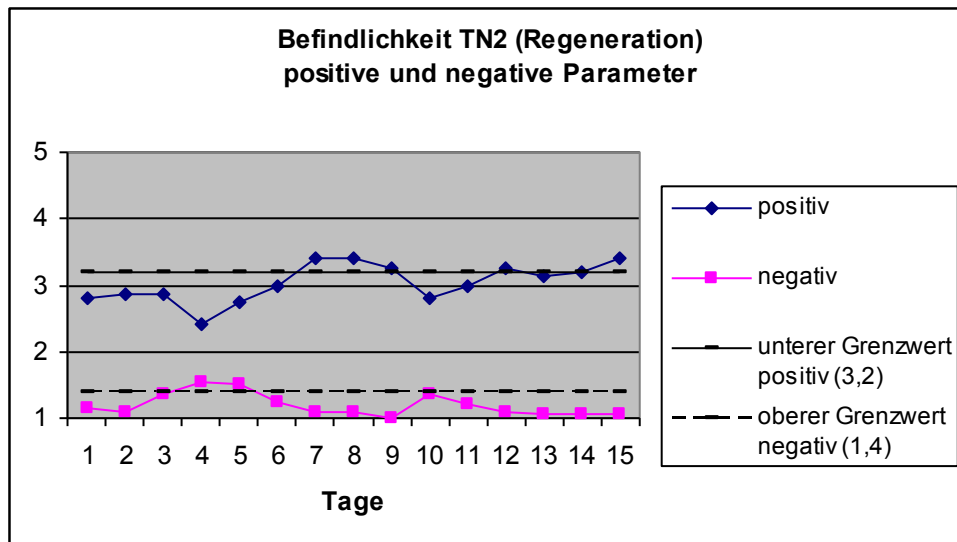


Abb. 46: Verlauf der Mittelwerte positiver und negativer Befindlichkeitsparameter während der Regenerationsphase TN2

### 5.2.3.3 TN3

#### Normwertbestimmung

Die Fragebögen der Befindlichkeitsskalen (BFS) wurden täglich ausgefüllt, in die Untersuchung einbezogen wurden sämtliche Fragebögen vom 6.7.08 bis zum 19.7.08.

Die Mittelwerte der einzelnen Kategorien der Befindlichkeitsskalen für den gesamten Zeitraum der Normwertbestimmung sind in Abbildung 47 dargestellt.

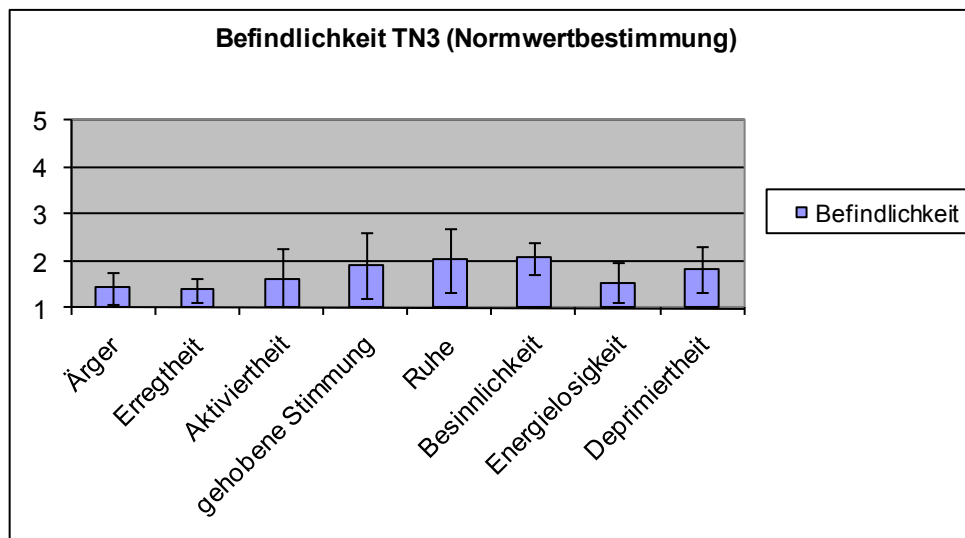


Abb. 47: Mittelwerte der einzelnen Befindlichkeitsparameter während der Normwertbestimmung TN3

Das Gesamtprofil zeigt relativ niedrige Werte für die positiven Kategorien Aktiviertheit (1,6), gehobene Stimmung (1,9) und Ruhe (2,0) – aber auch für die negativen Kategorien Ärger (1,4), Erregtheit (1,4), Energielosigkeit (1,5) sowie Deprimiertheit (1,8). Keiner der vier negativen Parameter erreicht maximale Werte von 3 oder mehr. Der höchste ermittelte Wert zeigt den Wert 2,6 für Deprimiertheit an (17.7.08), der niedrigste ermittelte Wert für einen der positiven Parameter ist 1,0.

Der für die Phase der Normwertbestimmung errechnete Mittelwert der positiven Parameter beträgt für die erste Messwoche 2,4, für die zweite Messwoche lediglich 1,3. Der Mittelwert der negativen Parameter steigt von 1,3 in der ersten Messwoche auf 1,7 in der zweiten Messwoche an.

Abbildung 48 zeigt den Verlauf der positiven und negativen Befindlichkeitsparameter in der ersten und zweiten Messwoche. Die positiven Parameter haben in der ersten Woche tendenziell höhere Werte als die negativen Parameter. Dieses Bild verändert sich in der zweiten Woche, als die Arbeitsbelastung des Teilnehmers erhöht ist.

Mittels Subtraktion und Addition der Standardabweichungen ergibt sich ein unterer Grenzwert von 1,20 für die zusammengefassten positiven Parameter und ein oberer Grenzwert von 1,82 für die zusammengefassten negativen Parameter.

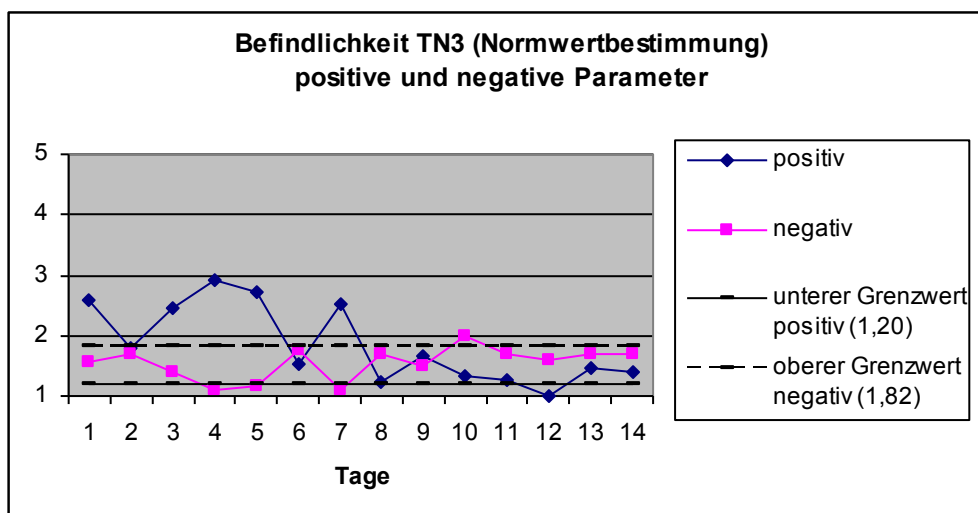


Abb. 48: Verlauf der Mittelwerte positiver und negativer Befindlichkeitsparameter während der Normwertbestimmung TN3

#### Deutschlandlauf und Regeneration

Aufgrund des frühen Abbruchs des Deutschlandlaufs bereits am dritten Wettkampftag erfolgt die Darstellung des Befindlichkeitsverlaufs bei TN3 bezogen auf die Messphasen 2 und 3, Wettkampf- und Regenerationsphase werden also zusammengefasst. Die einzelnen Parameter zeigen ähnlich niedrige Werte wie während der Normwertbestimmung. Auffällig sind noch geringere Mittelwerte für die positiven Parameter gehobene Stimmung (1,6) und Ruhe (1,6).

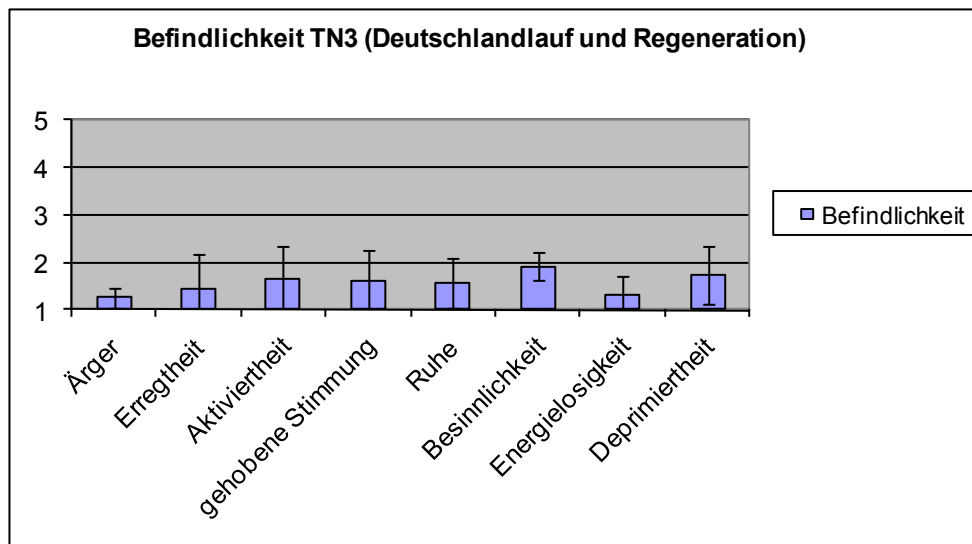


Abb. 49: Mittelwerte der einzelnen Befindlichkeitsparameter während DL und der Regenerationsphase TN3

Entsprechend des Vorgehens bei der Erstellung der Normwertbereiche wurden die Mittelwerte der drei positiven Parameter sowie der vier negativen Parameter für jeden Wettkampftag zusammengefasst. Der auf die Wettkampf- und Regenerationsphase bezogene Mittelwert der positiven Befindlichkeitsparameter beträgt 1,6 und der Mittelwert der negativen Befindlichkeitsparameter 1,4. Die Verläufe der Werte sind nachstehend dargestellt, die Messtage eins bis drei beziehen sich auf den Deutschlandlauf, die restlichen Messtage auf die Regenerationsphase im Anschluss an den Deutschlandlauf.

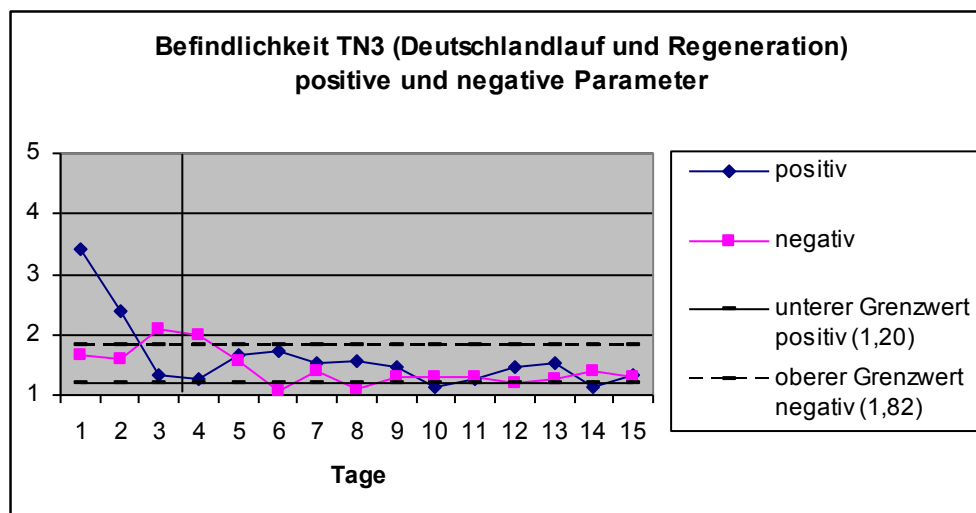


Abb. 50: Verlauf der Mittelwerte positiver und negativer Befindlichkeitsparameter während DL und Regenerationsphase TN3

Zu erkennen ist eine deutliche Verschlechterung der Befindlichkeit über die drei Wettkampftage (Tage 1 bis 3). Die Befindlichkeit des Athleten bleibt während der gesamten Regenerationsphase eingeschränkt. Der Mittelwert der positiven Kategorien während des Messzeitraums Deutschland-



lauf und Regenerationsphase (1,6) liegt deutlich unterhalb des Mittelwerts der positiven Parameter während der ersten Woche der Normwertbestimmung (2,4) und knapp unterhalb des Mittelwerts der positiven Kategorien während der gesamten Normwertbestimmung (1,9). Berücksichtigt werden muss, dass während der Regenerationsphase keine äußeren Stressoren wie Wettkämpfe oder arbeitsreiche Reisen auf den Teilnehmer einwirkten.

Dennoch zeigen sich im Hinblick auf die während der Normwertbestimmung ermittelten Daten des Teilnehmers keine kritischen Ereignisse.

#### 5.2.3.4 TN4

##### *Normwertbestimmung*

Die Fragebögen der Befindlichkeitsskalen (BFS) wurden täglich ausgefüllt, in die Untersuchung einbezogen wurden sämtliche Fragebögen vom 25.8.08 bis zum 7.9.08 – es wurden keine emotional belastenden Ereignisse angegeben.

Wie in Abbildung 51 ersichtlich, zeigen die Mittelwerte der einzelnen positiven und negativen Befindlichkeitsparameter durchgehend niedrige Werte für die negativen Kategorien Ärger (1,2), Erregtheit (2,1), Energielosigkeit (1,2) und Deprimiertheit (1,4), die Mittelwerte der positiven Kategorien Aktiviertheit (2,9), gehobene Stimmung (3,2) und Ruhe (3,2) sind durchgehend hoch.

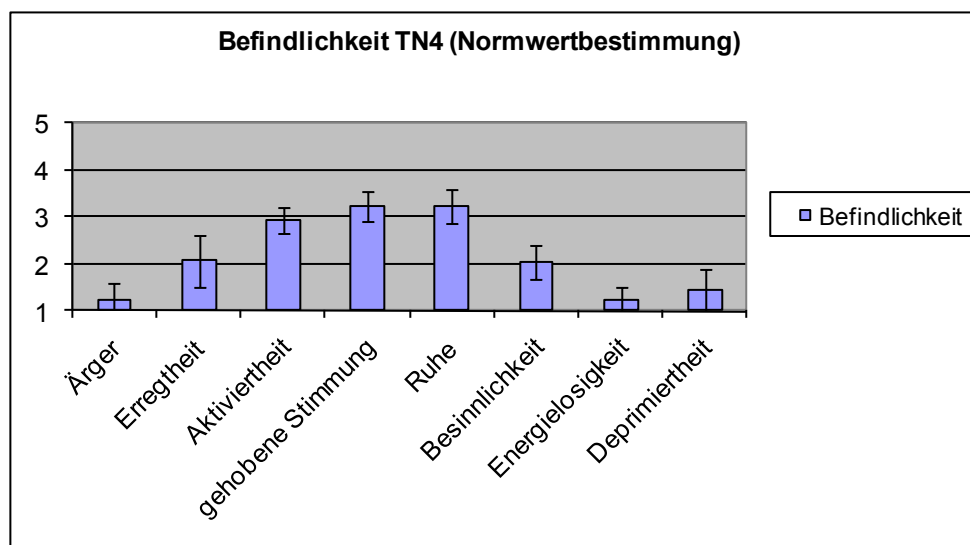


Abb. 51: Mittelwerte der einzelnen Befindlichkeitsparameter während der Normwertbestimmung TN4

Bis auf die Kategorie Erregtheit (maximaler Wert 3,2 am 6.9.08 und 7.9.08) erreicht keiner der negativen Parameter Werte von über 2. Die niedrigsten Werte der positiven Kategorien Aktiviertheit, gehobene Stimmung und Ruhe liegen bei 2,6 für Ruhe (6.9.08, 7.9.08), 2,8 für gehobene Stimmung (6.9.08, 7.9.08) sowie bei 2,6 für Aktiviertheit (30.8.08, 31.8.08, 3.9.08 – 5.9.08). An den übrigen Messtagen unterschreitet kein positiver Parameter den Wert 2,6.

Der für die erste Messphase errechnete Mittelwert der zusammengefassten drei positiven Parameter beträgt 3,13, der Mittelwert der zusammengefassten vier negativen Parameter 1,50. Mittels der bereits beschriebenen Verfahrensweise ergeben sich somit eine Untergrenze von 2,84 für die positiven Befindlichkeitsparameter sowie eine Obergrenze von 1,89 für die negativen Befindlichkeitsparameter. Ein mindestens dreitägiges Überschreiten des Grenzwertes durch die negativen Parameter bzw. ein mindestens dreitägiges Unterschreiten des Grenzwertes durch die positiven Parameter wird als kritisches Ereignis definiert.

Die Verläufe der positiven und negativen Kategorien während der Normwertbestimmung zeigen in der Woche vor Beginn des Deutschlandlaufs eine leichte Verschlechterung der Befindlichkeit an und sind in Abbildung 52 dargestellt.

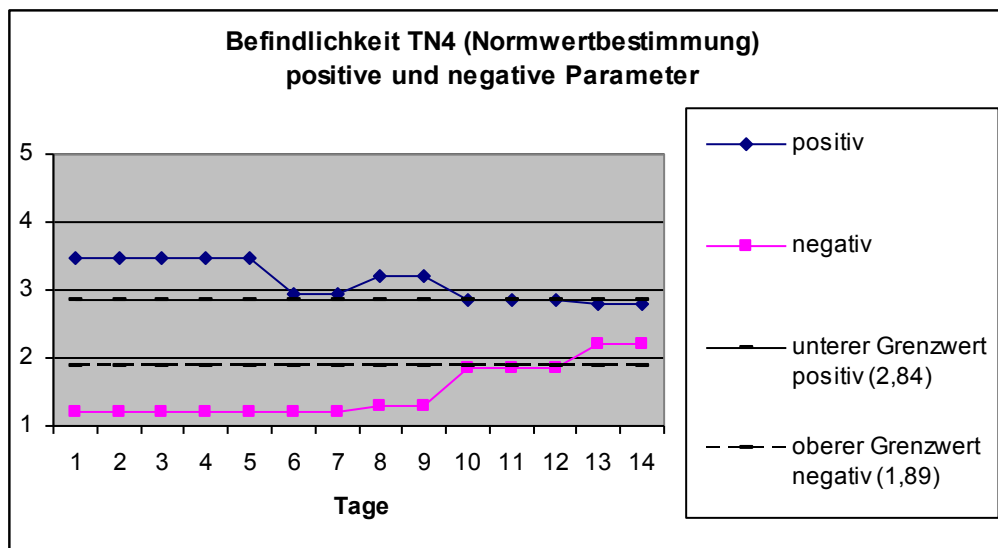


Abb. 52: Verlauf der Mittelwerte positiver und negativer Befindlichkeitsparameter während der Normwertbestimmung TN4

### Deutschlandlauf

Es zeigen sich während des Deutschlandlaufs deutlich niedrigere Mittelwerte für die positiven Parameter Aktiviertheit (1,8), gehobene Stimmung (1,5) und Ruhe (1,9) sowie deutliche erhöhte Mittelwerte für die negativen Parameter Ärger (1,8), Energielosigkeit (2,2) und Deprimiertheit (2,9). Der Mittelwert des negativen Parameters Erregtheit bleibt dagegen konstant (2,1). Das während der Normwertbestimmung ermittelte Eisbergprofil ist nun nicht mehr auszumachen, wie in Abbildung 53 zu erkennen.

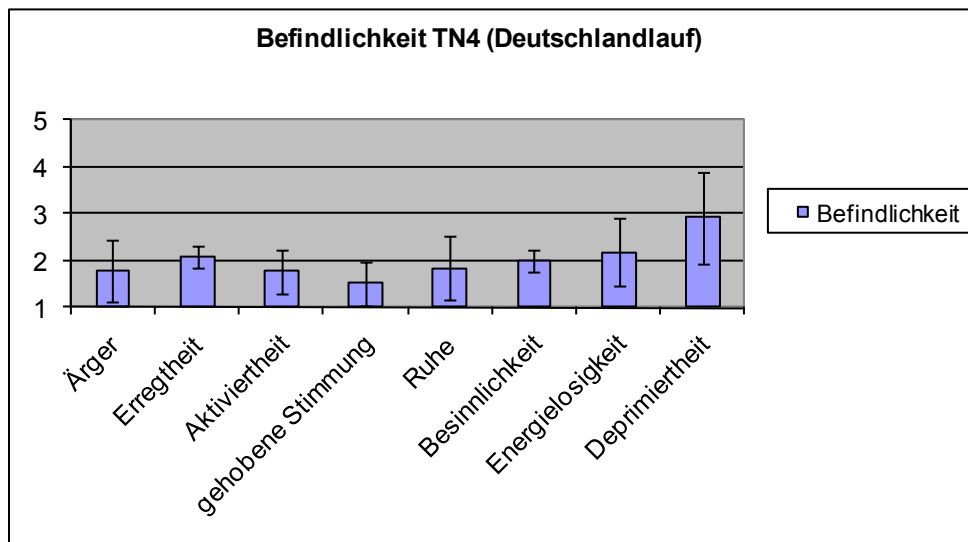


Abb. 53: Mittelwerte der einzelnen Befindlichkeitsparameter während des DL TN4

Entsprechend des Vorgehens bei der Erstellung der Normwertbereiche wurden die Mittelwerte der drei positiven Kategorien sowie der vier negativen Kategorien für jeden Wettkampftag zusammengefasst. Der auf die gesamte Wettkampfdauer bezogene Mittelwert der drei positiven Kategorien beträgt 1,7, der Mittelwert der vier negativen Kategorien 2,2.

Der Verlauf der Werte ist in Abbildung 54 dargestellt.

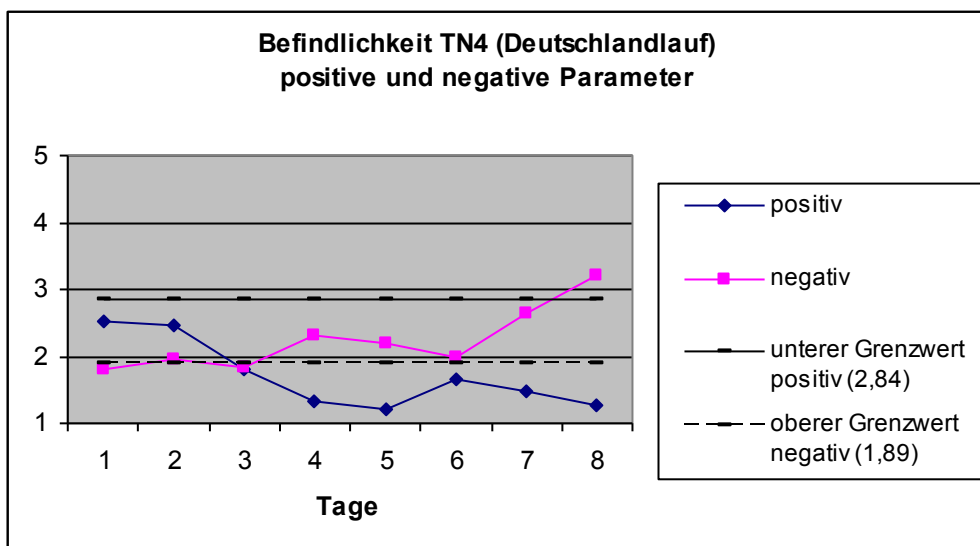


Abb. 54: Verlauf der Mittelwerte positiver und negativer Befindlichkeitsparameter während des DL TN4

Zu erkennen ist eine von Wettkampfbeginn an beeinträchtigte Stimmungslage, die sich schon gegen Ende der Normwertbestimmung andeutete.

Ab dem ersten Wettkampftag unterschreitet der Mittelwert der positiven Kategorien den vordefinierten unteren Grenzwert 2,84, ab dem vierten Wettkampftag überschreitet der Mittelwert der negativen Kategorien den vordefinierten oberen Grenzwert 1,89. Vom dritten Wettkampftag an finden sich höhere Mittelwerte für die negativen Kategorien als für die positiven Kategorien und zum Wettkampfende hin ist eine zunehmende und deutliche Stimmungsverschlechterung auszumachen.

Die Befindlichkeitswerte zeigen ein kritisches Ereignis an, allerdings finden sich mit Ausnahme des vierten und sechsten Wettkampftages zu jedem Wettkampftag in den Befindlichkeitsfragebögen Angaben über negativ belastende Ereignisse. Diese beziehen sich auf Verletzungsprobleme sowie auf den eigenen Trainingsrückstand (Wettkampftag 1).

### Regeneration

Die Befindlichkeitsmessungen wurden im Anschluss an den Deutschlandlauf vom 16.9.08 bis 30.9.08 erhoben. Während dieser Messphase zeigt sich wie während der Normwertbestimmung ein Eisbergprofil mit hohen Mittelwerten für die positiven Parameter (Aktiviertheit: 3,0; gehobene Stimmung: 2,7; Ruhe: 3,5) und niedrigen Mittelwerten für die negativen Parameter (Ärger: 1,1; Erregtheit: 1,6; Energielosigkeit: 1,2; Deprimiertheit: 2,3).

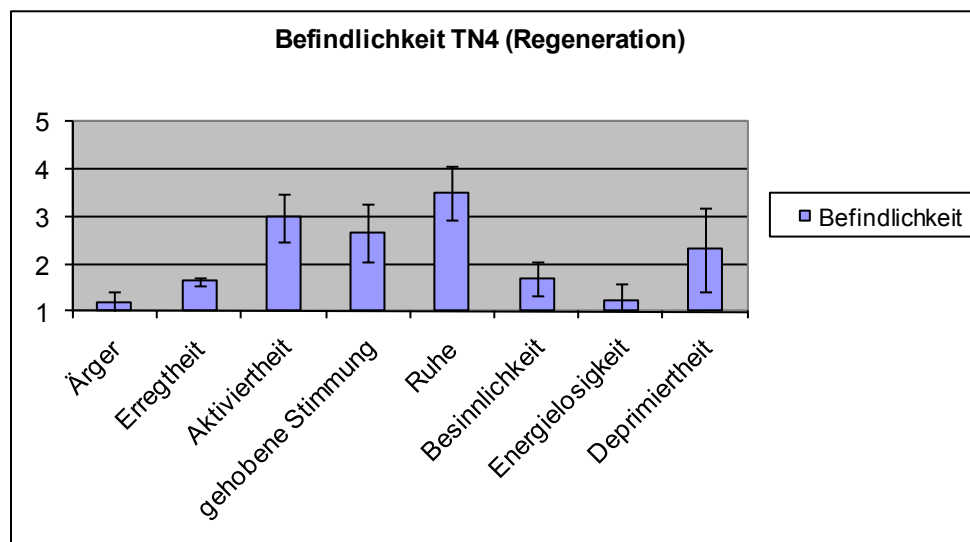


Abb. 55: Mittelwerte der einzelnen Befindlichkeitsparameter während der Regenerationsphase TN4

Der Mittelwert für die drei positiven Kategorien der Befindlichkeitsskala liegt für die gesamte Regenerationsphase (16.9.08 – 30.9.08) bei 3,1, der Mittelwert der vier negativen Kategorien für dieses Zeitfenster bei 1,6. Insgesamt zeigt sich während dieser Messphase eine deutliche Verbesserung des Befindens im Vergleich zur Wettkampfphase, ein kritisches Ereignis tritt nicht auf. Ab dem fünften Tag der Regenerationsphase überschreiten die Mittelwerte der positiven Kategorien nahezu konstant den vordefinierten unteren Grenzwert, die Mittelwerte der negativen Parameter unterschreiten bereits ab dem zweiten Regenerationstag den vordefinierten oberen Grenz-

wert. Der Kurvenverlauf zeigt eine leichte Verschlechterung des Befindens am neunten und zehnten Regenerationstag an, welche der Teilnehmer mit dem Zieleinlauf der erfolgreichen Läufer in Lörrach und dem Ende des Deutschlandlaufs erklärte. Er hätte das Ziel gerne selber erreicht und gab daher im Befindlichkeitsfragebogen vom 24.9.08 ein negativ belastendes Ereignis an. Abbildung 56 zeigt den Verlauf der Befindlichkeitsmarker während der Regenerationsphase.

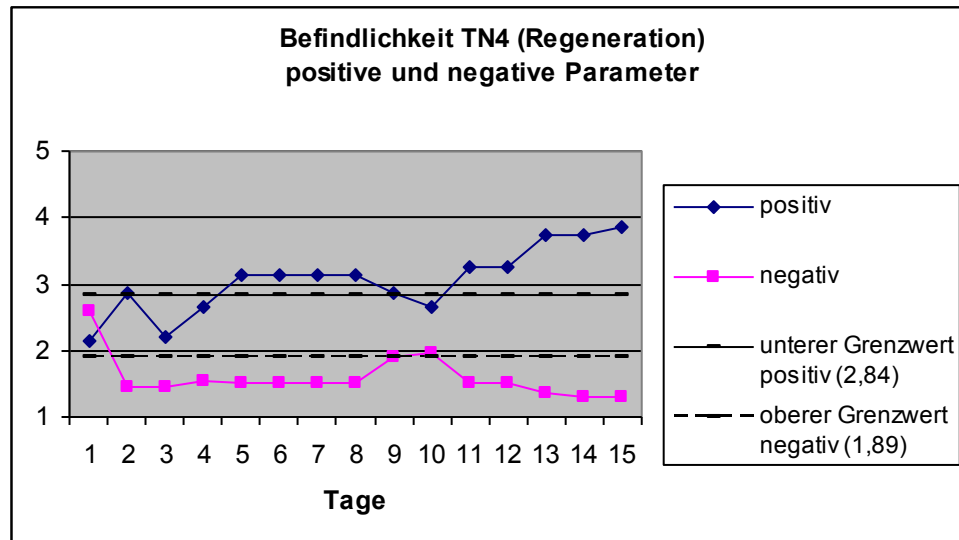


Abb. 56: Verlauf der Mittelwerte positiver und negativer Befindlichkeitsparameter während der Regenerationsphase TN4

### 5.2.3.5 TN5

#### Normwertbestimmung

Die Fragebögen der Befindlichkeitsskalen (BFS) wurden mit Ausnahme des 29.6.08 täglich ausgefüllt, in die Untersuchung einbezogen wurden sämtliche ausgefüllten Fragebögen, sich auf das Befinden negativ auswirkende Ereignisse während dieser Zeit lagen nicht vor.

Die Mittelwerte der Fragebögen zeigen durchgehend extrem niedrige Werte für die negativen Kategorien Ärger (1), Erregtheit (1), Energielosigkeit (1,1) und Deprimiertheit (1) und hohe Werte für die positiven Kategorien Aktiviertheit (3,37), gehobene Stimmung (4) und Ruhe (3,74).

Keine der vier negativen Kategorien erreicht maximale Werte von 2 oder mehr. Drei der vier negativen Kategorien (Ärger, Erregtheit, Deprimiertheit) liegen für jeden Untersuchungstag bei 1, lediglich die Kategorie Energielosigkeit erreicht an zwei Tagen (30.6.08, 30.7.08) den Wert 1,8.

Die niedrigsten Werte für die positiven Kategorien liegen bei 3,2 für Aktiviertheit (30.6.08, 30.7.08) und 3,4 für Ruhe (1.7.08 – 3.7.08, 28.7.08 und 29.7.08). Der Wert für gehobene Stimmung liegt durchgehend konstant bei 4.

Die Befindlichkeitsfragebögen der Tage 1.7.08, 2.7.08, 3.7.08, 28.7.08, 29.7.08 und 3.8.08 enthalten hohe Werte (4) für die Adjektive ‚locker‘, ‚entspannt‘, ‚ruhig‘ und ‚gelassen‘, jedoch niedrige Werte (1) für das Adjektiv ‚gelöst‘, das derselben übergeordneten Kategorie (Ruhe) zugeordnet wird. Die an diesen Tagen etwas niedrigeren Werte für die Kategorie Ruhe entsprechen daher möglicherweise einem Messfehler.

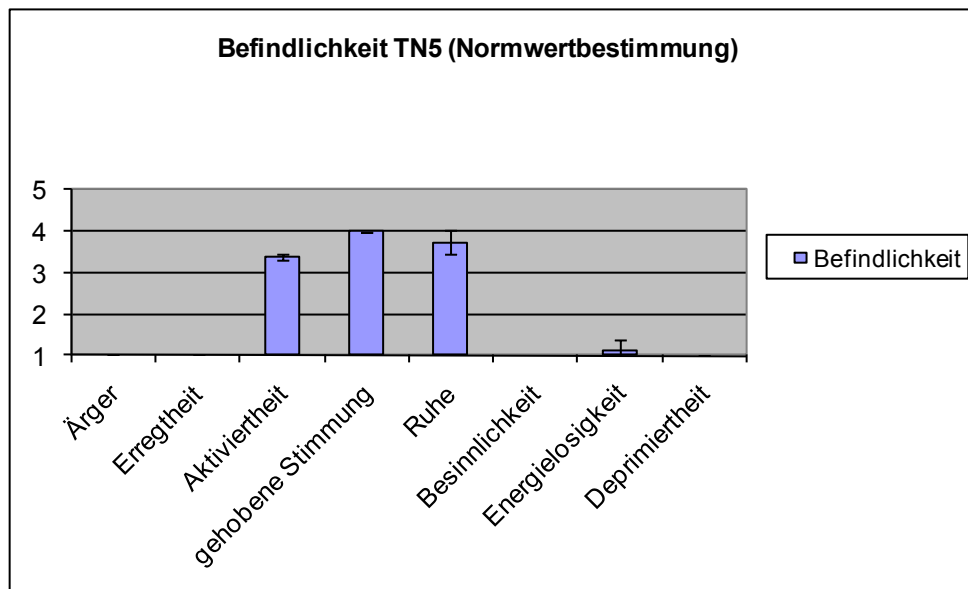


Abb. 57: Mittelwerte der einzelnen Befindlichkeitsparameter während der Normwertbestimmung TN5

Der für die erste Phase der Normwertbestimmung errechnete Mittelwert der zusammengefassten drei positiven Parameter der Befindlichkeitsskalen beträgt 3,70, der Mittelwert der zusammengefassten vier negativen Parameter 1,03. Mittels der bereits beschriebenen Vorgehensweise ergeben sich damit ein unterer Grenzwert von 3,61 für die positiven Parameter sowie ein oberer Grenzwert von 1,10 für die negativen Parameter.

Mindestens dreitägige Unter- oder Überschreitungen der Grenzwerte werden als kritisches Ereignis definiert.

Abbildung 58 zeigt den Verlauf der Mittelwerte der positiven und negativen Parameter während der Normwertbestimmung.

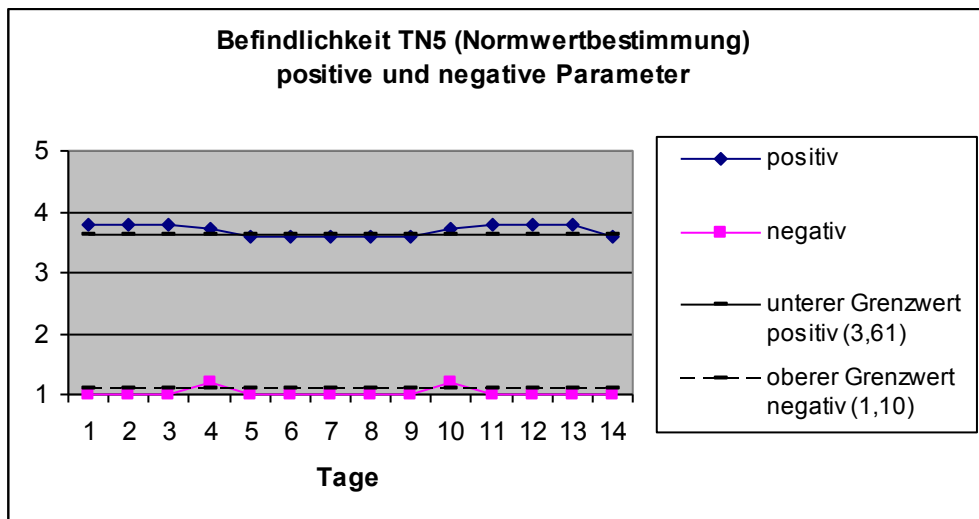


Abb. 58: Verlauf der Mittelwerte positiver und negativer Befindlichkeitsparameter während der Normwertbestimmung TN5

#### Deutschlandlauf

Die einzelnen Parameter der Befindlichkeit zeigen ähnlich günstige Mittelwerte wie während der Normwertbestimmung mit hohen Kennwerten für die positiven Parameter Aktiviertheit (4,1), gehobene Stimmung (3,65) und Ruhe (3,9) sowie niedrigen Kennwerten für die negativen Parameter Ärger (1), Erregtheit (1,4), Energielosigkeit (1) und Deprimiertheit (1,1).

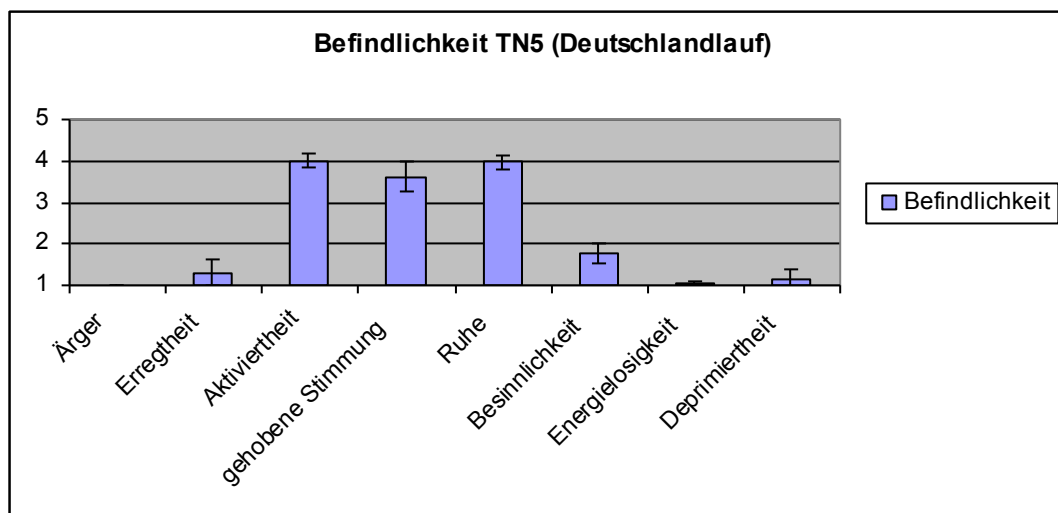


Abb. 59: Mittelwerte der einzelnen Befindlichkeitsparameter während des DL TN5

Der auf die gesamte Wettkampfdauer bezogene Mittelwert der positiven Parameter beträgt 3,9, der Mittelwert der negativen Parameter 1,1. Der Verlauf der Werte ist in Abbildung 60 dargestellt.

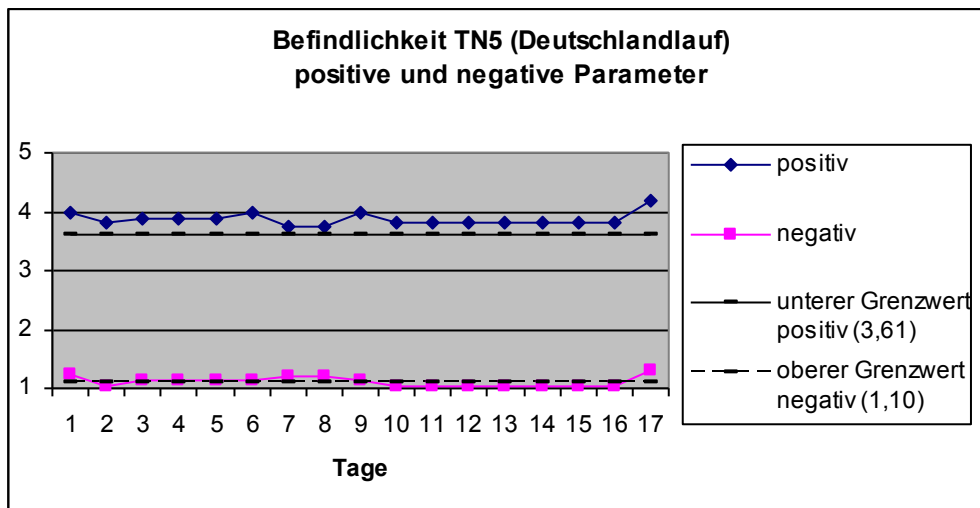


Abb. 60: Verlauf der Mittelwerte positiver und negativer Befindlichkeitsparameter während des DL TN5

Zu erkennen ist eine äußerst stabile Stimmungslage ohne nennenswerte Schwankungen. Die negativen Parameter überschreiten den oberen Grenzwert vom 3. bis 9. Wettkampftag um 4,5–9 % und zeigen damit ein kritisches Ereignis an. Da jedoch die positiven Parameter gleichzeitig einen im Vergleich zur Normwertbestimmung leicht erhöhten Mittelwert (um 5 %) aufweisen, kann nicht von einem beeinträchtigten psychischen Befinden des Teilnehmers ausgegangen werden.

#### Regeneration

Es wurden keine weiteren Befindlichkeitsprotokolle während der Regenerationsphase ausgefüllt.

#### 5.2.3.6 TN6

TN6 füllte während des Deutschlandlaufs und der Regenerationsphase keine Befindlichkeitsfragebögen aus, daher entfällt für diesen Teilnehmer eine Auswertung dieses Parameters.

#### 5.2.3.7 Zusammenfassung und Diskussion

##### TN1

Das Befindlichkeitsprofil des Sportlers während der Normwertbestimmung zeigt ein für gesunde und nicht überbelastete Sportler typisches Eisbergprofil mit hohen positiven Kennwerten (Aktiviertheit, gehobene Stimmung, Ruhe) und niedrigen negativen Kennwerten (Ärger, Erregtheit, Energielosigkeit, Deprimiertheit) (vgl. Abele-Brehm & Brehm, 1986). Die geringen Schwankungen während der ersten Messphase sprechen für eine stabile psychische Disposition des Sportlers.

Auch während der gesamten Wettkampfphase ist eine durchweg positive Grundstimmung auszumachen, die sich im Rahmen der Normwerte bewegt, sodass eine Überbelastung, die durch den Parameter Befindlichkeit angezeigt wird, während dieser Messphase ausgeschlossen werden kann. Insgesamt wären aufgrund der aktuellen Studienlage innerhalb der dreiwöchigen Wettkampfphase Beeinträchtigungen der Befindlichkeit zu erwarten gewesen, auch in Abwesenheit möglicher Leistungsminderungen (vgl. Anglem et al., 2008; Bosquet et al., 2001; González-Boto et al., 2008;



Goss, 1994; O'Connor et al., 1989; Peluso & de Andrade, 2005; Raglin et al., 1991; Steinacker et al., 2000; Uusitalo et al., 1998; Verde & Shephard, 1992). Zwar konnten Filaire et al. (2004) und Rietjens et al. (2005) während vier Tage bis zwei Wochen andauernden intensiven und umfangreichen Interventionen sowie Slivka et al. (2010) im Verlauf einer dreiwöchigen Feldstudie konstante Befindlichkeitswerte bei Radsportlern nachweisen, der Zusammenhang zwischen extremen Gesamtbelastungsumfängen und beeinträchtigter Befindlichkeit gilt jedoch als gesichert (vgl. Adams & Kirkby, 2001; Birrer, 2004; Bottomley, 1989; Fry et al., 1991; Gleeson, 1998; Hollander et al., 1995; Hooper et al., 1995; Kayser & Gremion, 2004; Meeusen et al., 2006; Morgan et al., 1987; Nederhof et al., 2008; O'Connor et al., 1989; Pierce, 2002; Raglin & Barzdukas, 1999; Sims, 2001; Teeple et al., 2006; Urhausen & Kindermann, 2002; Uusitalo et al., 1998; Vernacchia, 1997). Demzufolge muss davon ausgegangen werden, dass der Sportler die Belastungsanforderungen des Deutschlandlaufs hinreichend gut tolerieren konnte oder der Parameter Befindlichkeit für TN1 keinen ausreichend sensiblen Indikator für kritische Belastungsfaktoren darstellt.

Zu Beginn der Regenerationsphase kommt es vom vierten bis achten Messtag zu einem mehrtägigen Anstieg der negativen Befindlichkeitsparameter über den vordefinierten Grenzwert hinaus und damit zu einem kritischen Ereignis. Zwar scheinen die Ausschläge gering, aufgrund der stabilen Befindlichkeitswerte während der Normwertbestimmung und des Deutschlandlaufs könnten jedoch auch diese geringfügigen Veränderungen eine physiologische Beeinträchtigung für TN1 anzeigen. Grundsätzlich jedoch bewegen sich die Befindlichkeitswerte des Teilnehmers auch während der letzten Messphase auf einem konstanten Niveau.

## TN2

Auch das Befindlichkeitsprofil von TN2 zeigt entsprechend dem für gesunde und nicht überbelastete Sportler typischen Eisbergprofil hohe Werte für die positiven Parameter (Aktiviertheit, gehobene Stimmung, Ruhe) und niedrige Werte für die negativen Parameter (Ärger, Erregtheit, Energielosigkeit, Deprimiertheit) sowie geringe Schwankungen während der ersten Messphase. Die ermittelten Daten der Befindlichkeitsfragebögen sprechen also ebenso wie bei TN1 für eine stabile psychische Disposition und eine ausgeglichene Sportlerpersönlichkeit.

Bereits vor dem Eintreten der Verletzungsprobleme kommt es zu einer deutlichen Verschlechterung der Befindlichkeit, ab dem zweiten Wettkampftag in kritischer Form für die positiven Befindlichkeitsparameter, ab dem fünften Wettkampftag für die negativen Befindlichkeitsparameter. Diese Beeinträchtigungen dauern die gesamte Wettkampfphase und darüber hinaus an, die Unterschiede zu den Werten der Normwertbestimmung sind deutlich und entsprechen der aktuellen Studienlage (vgl. Anglem et al., 2008; Bosquet et al., 2001; González-Boto et al., 2008; Goss, 1994; O'Connor et al., 1989; Peluso & de Andrade, 2005; Raglin et al., 1991; Steinacker et al., 2000; Uusitalo et al., 1998; Verde & Shephard, 1992). Vor allen Dingen die Werte der positiven Kategorien Aktiviertheit, gehobene Stimmung und Ruhe scheinen für diesen Sportler sensible Indikatoren für kritische Belastungsgrenzen zu sein. Normwertabweichungen dieser Parameter könnten zukunftsweisend verwertbare Hinweise auf notwendige Belastungspausen innerhalb der Trainingssteuerung des Teilnehmers geben.

Fraglich erscheint, zu welchem Anteil die Befindlichkeitsverschlechterung zu Beginn des Deutschlandlaufs noch nicht den äußeren Belastungsanforderungen geschuldet gewesen sein könnte,

sondern der ungewohnten Umgebung, der Wettkampfsituation oder den persönlichen Erwartungen des Teilnehmers. Es finden sich während der ersten vier Wettkampftage keine Einträge in den Befindlichkeitsprotokollen über emotional belastende Gedanken oder Ereignisse, die Wettkampfstressoren dürften dem Teilnehmer aufgrund seiner bereits vierten Teilnahme an einem Etappenmarathon dieser Art vertraut gewesen sein und am ersten Wettkampftag lag noch keine Beeinträchtigung der Befindlichkeit vor. Auch wenn die oben genannten alternativen Erklärungsfaktoren nicht ausgeschlossen werden können, erscheint es plausibel, die Befindlichkeitsbeeinträchtigungen ab dem zweiten Wettkampftag ursächlich mit der hohen Laufgeschwindigkeit der ersten Tagesetappen und dem Ausblick auf die weiteren hohen Belastungsanforderungen in Verbindung zu bringen, zumal das Lauftempo auf den folgenden Etappen nicht aufrechterhalten werden konnte. Zwar gehen Peluso und de Andrade (2005) von einer zeitlichen Dauer von zehn Tagen aus, nach denen es bei Überlastungen zu einer Verschlechterung der Befindlichkeit kommt, doch Fry et al. (1994) konnten Beeinträchtigungen bereits nach fünf Tagen, Schulz et al. (2004) gar nach einmaligen maximalen Belastungen nachweisen. Da der Leistungszustand eines Sportlers in diesem Zusammenhang einen entscheidenden Faktor darstellen dürfte, ist der unmittelbare Einfluss der Belastungsfaktoren bereits zu einem solch frühen Zeitpunkt wahrscheinlich.

Während der Regenerationsphase zeigen die positiven Befindlichkeitsparameter ein kritisches Ereignis an, sie unterschreiten den Normbereich vom ersten bis sechsten Regenerationstag und sind im Mittel im Vergleich zur Normwertbestimmung deutlich erniedrigt. Dies festigt die Vermutung, dass die Verschlechterung der Befindlichkeit während des Deutschlandlaufs nicht primär den äußeren Umständen wie z. B. der fremden Umgebung oder den oft gewöhnungsbedürftigen Unterkünften geschuldet war. Auch in vertrauter Umgebung ist das Befinden nach dem Deutschlandlauf deutlich beeinträchtigt. Dafür können ursächlich sowohl die nachwirkenden Belastungsfaktoren des Wettkampfes – in Zusammenhang mit der bei TN2 diagnostizierten Leistungsminderung (vgl. Baumert et al., 2006; Bosquet et al., 2001; Coutts, Wallace et al., 2007; Halson et al., 2002) als auch die aufgetretenen Verletzungen verantwortlich sein. Zu favorisieren ist letztere Erklärung, da der Sportler selbst seine verschlechterte Stimmung in unmittelbarem Anschluss an den Lauf mit den verletzungsbedingten Beschwerden erklärte.

### *TN3*

Aufgrund der beschriebenen Arbeitsbelastung und der beeinträchtigten Befindlichkeit des Sportlers während der zweiten Woche der Normwertbestimmung ist es nicht auszuschließen, dass der errechnete untere Grenzwert der positiven Parameter möglicherweise zu niedrig, der Grenzwert der negativen Parameter dagegen zu hoch bestimmt worden sein könnte, um Überbelastungen sensibel anzeigen zu können. Auch die nach eigenen Angaben häufig labile Stimmungslage des Sportlers könnte dazu beitragen, dass der Parameter Befindlichkeit für diesen Teilnehmer im Hinblick auf eine Trainings- und Belastungssteuerung schwieriger interpretierbar ist, als dies bei Sportlern mit einem stabileren Stimmungsprofil der Fall wäre.

Wie angenommen zeigt sich, dass die Befindlichkeitswerte des Teilnehmers die vordefinierten Grenzwerte nicht mindestens dreitägig über- bzw. unterschreiten und möglicherweise aufgrund der eingeschränkten Befindlichkeit während der zweiten Woche der Normwertbestimmung nicht eng genug erfasst wurden. Dennoch sind die positiven Parameter während der gesamten Regene-

rationsphase im Vergleich zur ersten Woche der Normwertbestimmung deutlich eingeschränkt und entsprechen somit Studienergebnissen von Anglem et al. (2008), Bosquet et al. (2001), González-Boto et al. (2008), Goss (1994), O'Connor et al. (1989), Peluso & de Andrade (2005), Raglin et al. (1991), Steinacker et al. (2000), Uusitalo et al. (1998) sowie Verde und Shephard (1992). Inwieweit dies den Belastungsfaktoren des Deutschlandlaufs geschuldet ist, bleibt aufgrund der labilen Stimmungslage des Sportlers spekulativ. Es werden jedoch keine externen und belastenden Ereignisse genannt, die die reduzierten Werte erklären würden. Nicht auszuschließen sind Verständnisschwierigkeiten oder Fehlinterpretationen einzelner Fragen, da der Teilnehmer einzelne englische Adjektive des Befindlichkeitsfragebogens vor der Bearbeitung zunächst in seine schwedische Muttersprache übersetzt hat. Widersprüchlich erscheint, dass neben den positiven Befindlichkeitsparametern auch die negativen Parameter während der Regenerationsphase erniedrigte Werte anzeigen.

Eine Interpretation des Zusammenhangs zwischen einem Zuviel an Trainings- oder Wettkampfbelastung und dem individuellen Befinden des Sportlers dürfte aufgrund dessen Neigung zu Stimmungsschwankungen schwierig sein.

#### *TN4*

Dieser Sportler zeigt wie TN1 und TN2 während der ersten Woche der Normwertbestimmung ein für gesunde und nicht überbelastete Sportler typisches Eisbergprofil mit hohen positiven Kennwerten (Aktiviertheit, gehobene Stimmung, Ruhe) und niedrigen negativen Kennwerten (Ärger, Erregtheit, Energielosigkeit, Deprimiertheit) sowie geringen Schwankungen während dieser Phase. Die Verläufe der positiven und negativen Kategorien der Befindlichkeitsskalen dokumentieren gegen Ende der ersten Messphase unmittelbar vor Beginn des Deutschlandlaufs allerdings eine Verschlechterung der Befindlichkeit, die einer gesteigerten Anspannung aufgrund des anstehenden Wettkampfeignisses zugeschrieben werden kann. Die maximalen Werte des Parameters Erregtheit könnten in diesem Zusammenhang mit der Nervosität vor dem Start des Deutschlandlaufs am 8.9.08 erklärt werden.

Die eingeschränkte Befindlichkeit des Teilnehmers gleich zu Wettkampfbeginn lässt sich möglicherweise zusätzlich mit dessen Zweifeln an einer erfolgreichen Bewältigung des Laufs aufgrund des Trainingsrückstands erklären (negativ belastendes Ereignis an Wettkampftag 1: Trainingsrückstand). Die beeinträchtigte Stimmungslage der ersten Wettkampftage dürfte ursächlich also auch in Faktoren unabhängig vom Belastungsumfang der einzelnen Tagesetappen des Deutschlandlaufs begründet sein, da sie sich schon gegen Ende der Normwertbestimmung abzeichnete.

Die Befindlichkeitswerte zeigen während des Deutschlandlaufs ein kritisches Ereignis an, die positiven Parameter bewegen sich ab dem ersten Wettkampftag dauerhaft unterhalb des Normbereichs und reagieren bei TN4 sensibler als die negativen Parameter. Sie dürften sich daher für die individuelle Trainingssteuerung des Sportlers besser eignen, um Überbelastungen präventiv vorzubeugen. Ähnliche Ergebnisse finden sich in Studien von Anglem et al. (2008), Bosquet et al. (2001), González-Boto et al. (2008), Goss (1994), O'Connor et al. (1989), Peluso & de Andrade (2005), Raglin et al. (1991), Steinacker et al. (2000), Uusitalo et al. (1998) sowie Verde und Shephard (1992).

Aufgrund der als belastend vermerkten Verletzungen kann die im weiteren Wettkampfverlauf kontinuierliche Verschlechterung der Befindlichkeit ursächlich nicht alleine mit dem hohen Belastungsumfang erklärt werden. Mit Ausnahme des vierten und sechsten Wettkampftages finden sich in den Befindlichkeitsfragebögen zu jedem Etappentag Angaben über negativ belastende Ereignisse aufgrund von Verletzungen.

Die Befindlichkeit des Sportlers ist der einzige Parameter, der während der Regenerationsphase eine positive Veränderung zeigt. Die negativen Parameter bewegen sich ab dem zweiten Regenerationstag, die positiven Parameter ab dem fünften Regenerationstag innerhalb des vorgegebenen Normbereichs. Wiederum ist erkennbar, dass die positiven Parameter der Befindlichkeit bei diesem Teilnehmer nachhaltiger auf die Belastungen des Laufs reagieren als die negativen Parameter.

Außer am neunten Regenerationstag (24.9.08) wurde kein negatives Ereignis angegeben, welches die Stimmungslage hätte beeinflussen können. Es ist daher davon auszugehen, dass die Belastungsfaktoren des Deutschlandlaufs auch im Nachhinein noch eine das Befinden negativ beeinträchtigende Wirkung haben, wenn auch recht schnell eine Verbesserung der Stimmungslage eintritt (vgl. Coutts, Wallace et al., 2007; Halson et al., 2002; Jeukendrup et al., 1992).

#### *TN5*

Das Befindlichkeitsprofil des Sportlers ergab wie bei TN1 und TN2 ein für gesunde und nicht überbelastete Sportler typisches Eisbergprofil mit hohen positiven Kennwerten (Aktiviertheit, gehobene Stimmung, Ruhe) und niedrigen negativen Kennwerten (Ärger, Erregtheit, Energielosigkeit, Deprimiertheit) sowie extrem geringen Schwankungen während der Normwertbestimmung. Die ermittelten Werte sprechen für eine äußerst stabile psychische Disposition des Sportlers.

Aufgrund der geringen Standardabweichung der Befindlichkeitsparameter zeigen schon geringfügige Veränderungen über drei aufeinanderfolgende Tage ein kritisches Ereignis an. Zwar ist davon auszugehen, dass aufgrund der beschriebenen stabilen Gemütslage des Teilnehmers selbst kleine Veränderungen des Gesamtbildes des Befindlichkeitsprofils auf zu hohe auf den Sportler einwirkende Belastungsfaktoren hinweisen könnten, ob die vordefinierten kritischen Ereignisse jedoch bereits ausreichend sind, um Hinweise für das Auftreten einer Überbelastung geben zu können, bleibt dennoch fraglich. Voraussetzung dafür ist in jedem Fall der Ausschluss plausibler alternativer Gründe für das Auftreten eines beeinträchtigten Befindlichkeitsprofils.

Die Befindlichkeit des Sportlers bleibt während des gesamten Deutschlandlaufs stabil, die negativen Befindlichkeitsparameter zeigen vom dritten bis neunten Wettkampftag dennoch ein kritisches Ereignis an. Aufgrund des insgesamt konstanten Verlaufs der negativen Parameter und der nur minimalen Überschreitung des Grenzwertes sowie der konstant hohen Werte der positiven Parameter ist eine tatsächliche Beeinträchtigung der Befindlichkeit des Teilnehmers während des Deutschlandlaufs unwahrscheinlich. In Anbetracht der Studienlage erscheint ein Ausbleiben von Befindlichkeitsbeeinträchtigungen während Extrembelastungen wie während des Deutschlandlaufs überraschend (vgl. Anglem et al., 2008; Bosquet et al., 2001; González-Boto et al., 2008; Goss, 1994; Morgan et al., 1987; O'Connor et al., 1989; Peluso & de Andrade, 2005; Raglin et al., 1991; Steinacker et al., 2000; Uusitalo et al., 1998; Verde & Shephard, 1992) – lediglich Filaire et al.

(2004), Rietjens et al. (2005) sowie Slivka et al. (2010) konnten eine stabile Befindlichkeit bei Radsportlern während intensiver und hoch umfangreicher Belastungsspitzen dokumentieren. Für eine möglicherweise in der ersten Wettkampfhälfte vorliegende Überbelastung ergeben sich anhand des Parameters Befindlichkeit bei diesem Sportler keine Anzeichen.

Tabelle 36 fasst die Mittelwerte der positiven und negativen Befindlichkeitsparameter während der unterschiedlichen Messphasen für die Teilnehmer zusammen. Rot markiert sind die bei den einzelnen Teilnehmern dokumentierten kritischen Ereignisse.

*Tab. 36: Mittelwerte positiver und negativer Befindlichkeitsparameter während der unterschiedlichen Messphasen bei TN1–TN5.*

<b>TN1</b>	<b>Mittelwert positive Parameter</b>	<b>Mittelwert negative Parameter</b>	<b>kritische Ereignisse</b>
Normwertbestimmung	3,91	1,65	-
Deutschlandlauf	3,96	1,73	Keine
Regenerationsphase	3,99	1,73	4.-8. Reg.-Tag
<b>TN2</b>	<b>Mittelwert positive Parameter</b>	<b>Mittelwert negative Parameter</b>	<b>kritische Ereignisse</b>
Normwertbestimmung	3,53	1,16	-
Deutschlandlauf	2,92	1,43	2.-8. WK-Tag
Regenerationsphase	3,04	1,19	1.-6. Reg.-Tag
<b>TN3</b>	<b>Mittelwert positive Parameter</b>	<b>Mittelwert negative Parameter</b>	<b>kritische Ereignisse</b>
Normwertbestimmung	1,85	1,55	-
Deutschlandlauf	2,38	1,78	-
Regenerationsphase	1,42	1,35	Keine
<b>TN4</b>	<b>Mittelwert positive Parameter</b>	<b>Mittelwert negative Parameter</b>	<b>kritische Ereignisse</b>
Normwertbestimmung	3,13	1,50	-
Deutschlandlauf	1,72	2,24	1.-8. WK-Tag
Regenerationsphase	3,05	1,59	Keine
<b>TN5</b>	<b>Mittelwert positive Parameter</b>	<b>Mittelwert negative Parameter</b>	<b>kritische Ereignisse</b>
Normwertbestimmung	3,71	1,03	-
Deutschlandlauf	3,86	1,12	3.-9. WK-Tag
Regenerationsphase	-	-	-

#### 5.2.4 Herzfrequenzvariabilität und Ruheherzfrequenz

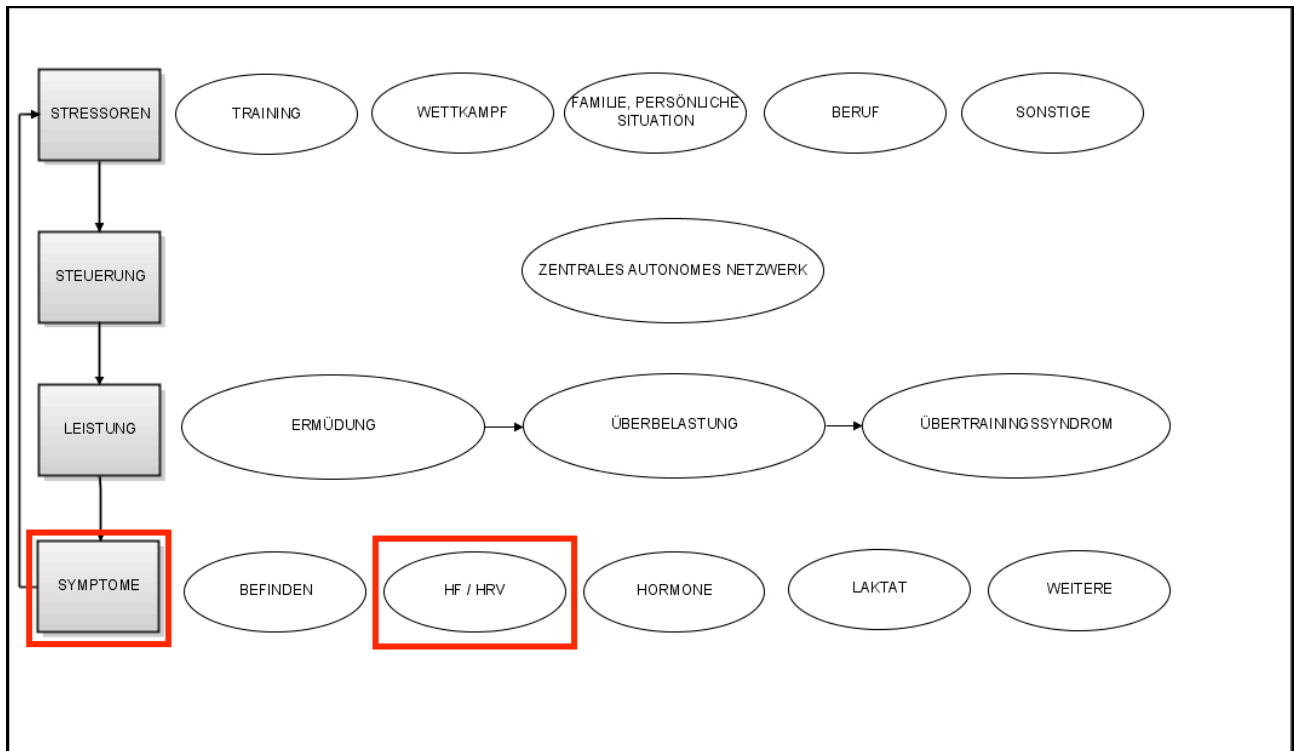


Abb. 61: Einfluss der unterschiedlichen Belastungsphasen auf die Parameter der Herzfrequenzvariabilität und die Ruheherzfrequenz

Die Ermittlung der Werte für die Parameter der morgendlichen Herzfrequenzvariabilität und Ruheherzfrequenz erfolgte methodisch nach der in Kapitel 4.6.3 dargestellten Vorgehensweise, die Bestimmung der Normbereiche nach dem beschriebenen Verfahren in Anlehnung an Kiviniemi et al. (2007).

Die Darstellung der Ergebnisse erfolgt gegliedert nach Untersuchungsteilnehmern und den unterschiedlichen Messphasen.

##### 5.2.4.1 TN1

###### Normwertbestimmung

Tage mit negativem Ereignis (12.7.08, 13.7.08., 14.7.08) wurden für die Phase der Normwertbestimmung isoliert, sodass insgesamt 22 Messungen für die Erstellung der Normwertbereiche der ausgewählten Parameter der Herzfrequenzvariabilität und der Ruheherzfrequenz berücksichtigt wurden. Die Darstellung der einzelnen Parameterverläufe und ermittelten Grenzwerte erfolgt anhand der nachstehend aufgeführten Abbildungen.

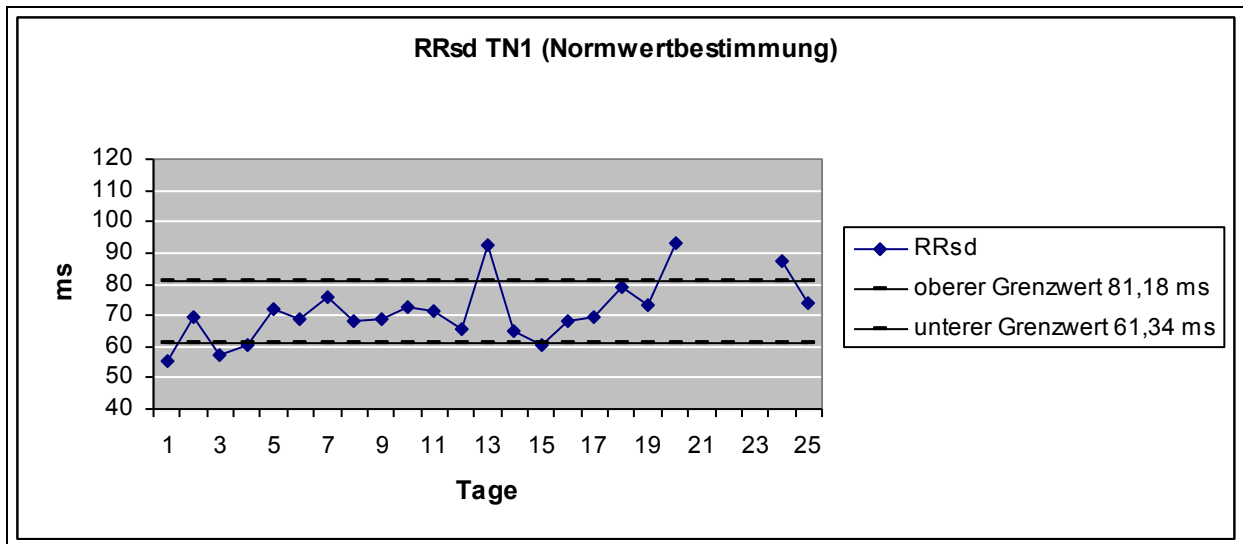


Abb. 62: Verlauf des RRsd während der Normwertbestimmung bei TN1

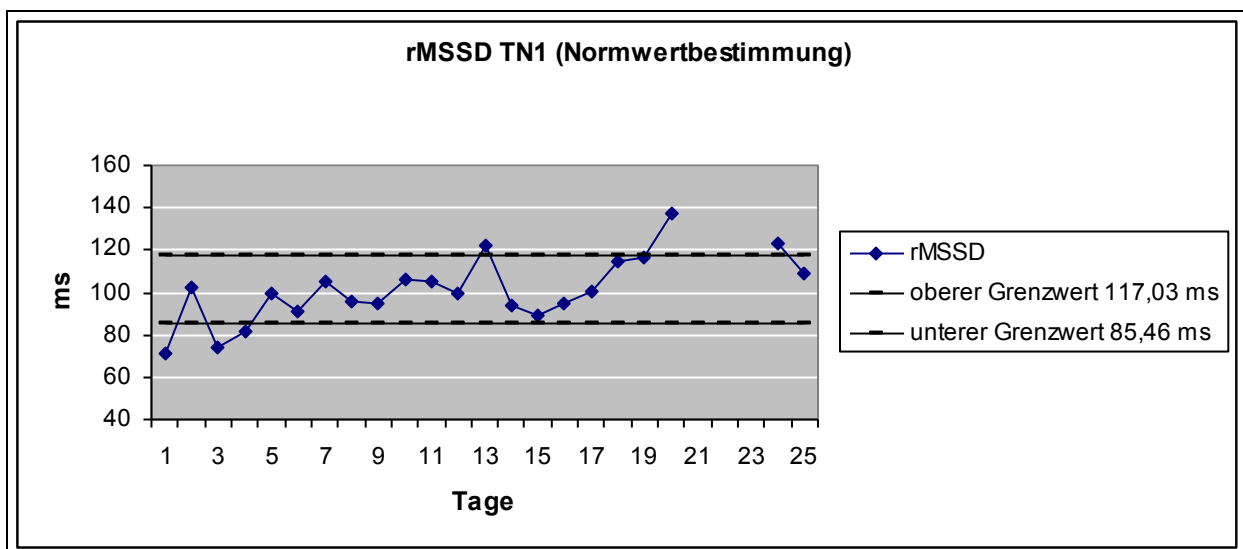


Abb. 63: Verlauf des rMSSD während der Normwertbestimmung bei TN1

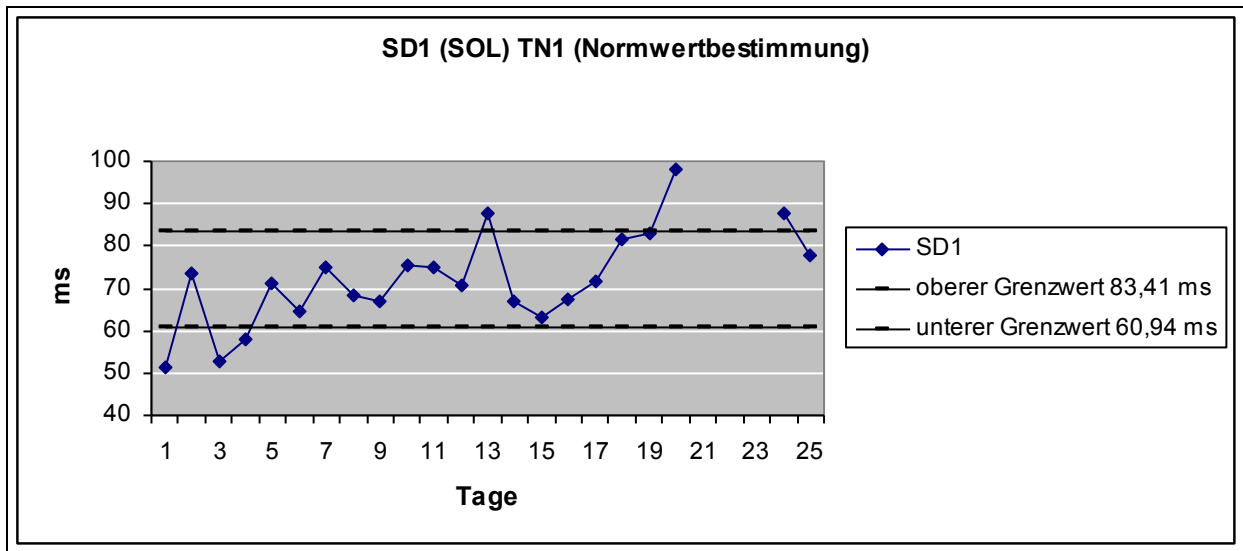


Abb. 64: Verlauf des SD1 während der Normwertbestimmung bei TN1

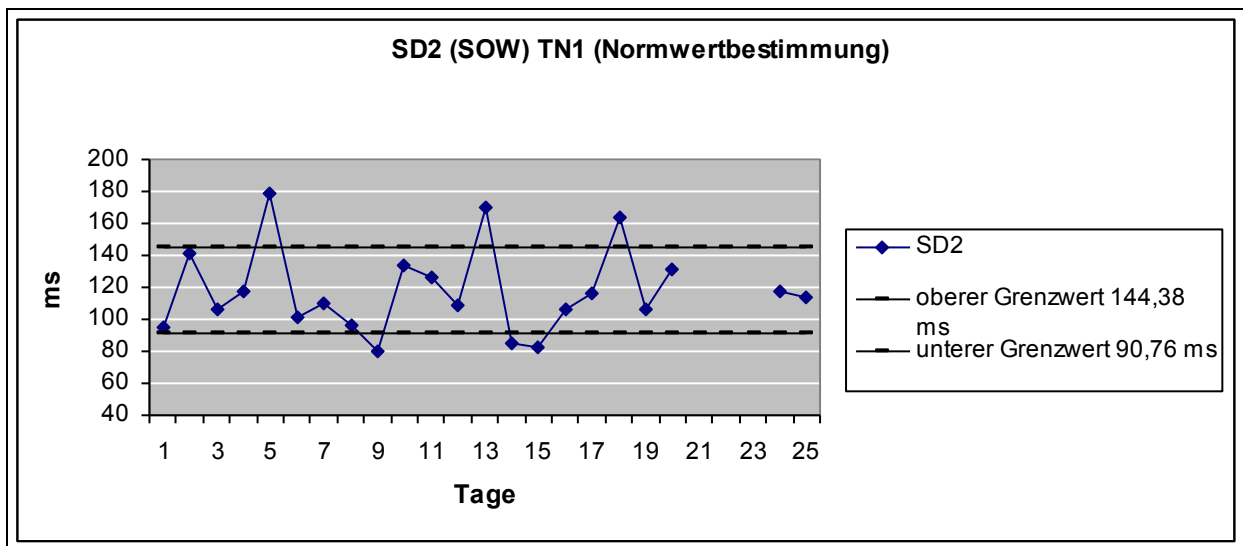


Abb. 65: Verlauf des SD2 während der Normwertbestimmung bei TN1



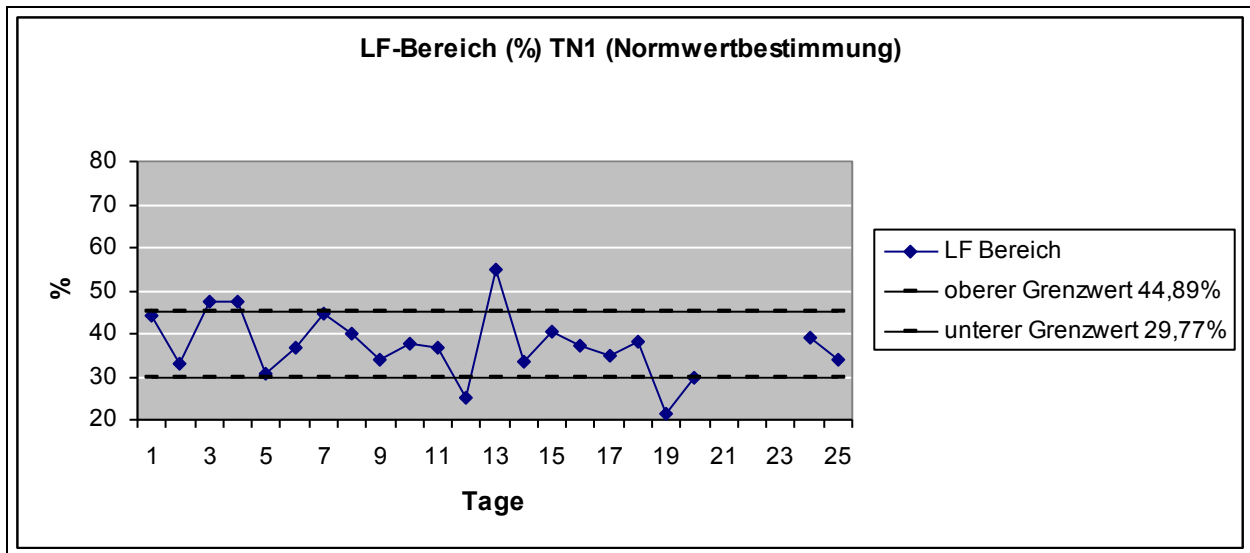


Abb. 66: Verlauf der Werte des LF-Bereichs (%) während der Normwertbestimmung bei TN1

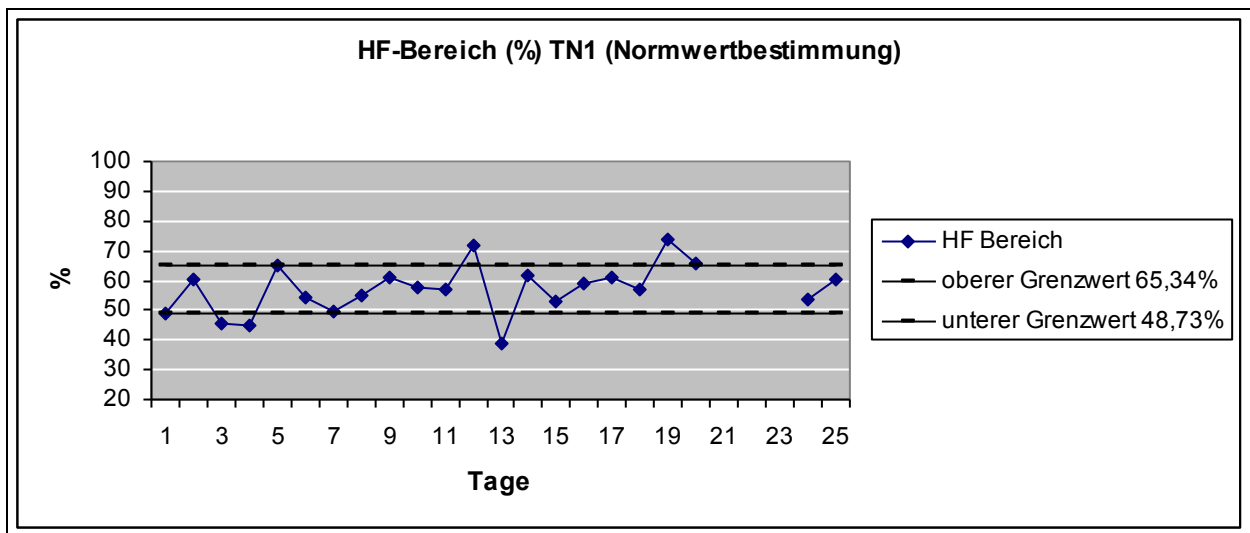


Abb. 67: Verlauf der Werte des HF-Bereichs (%) während der Normwertbestimmung bei TN1

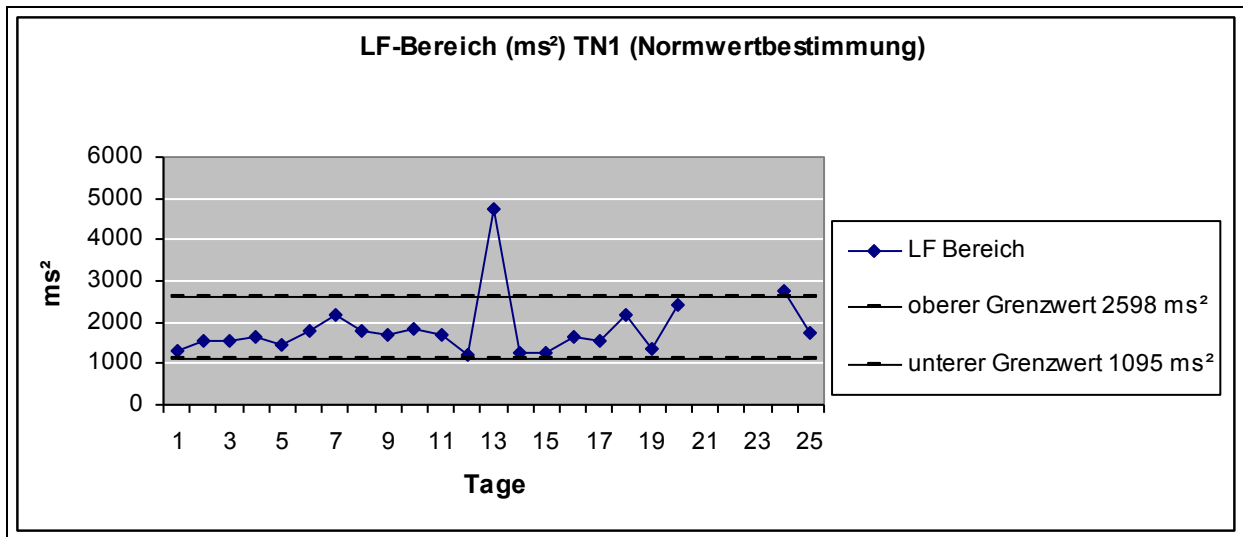


Abb. 68: Verlauf der Werte des LF-Bereichs ( $\text{ms}^2$ ) während der Normwertbestimmung bei TN1

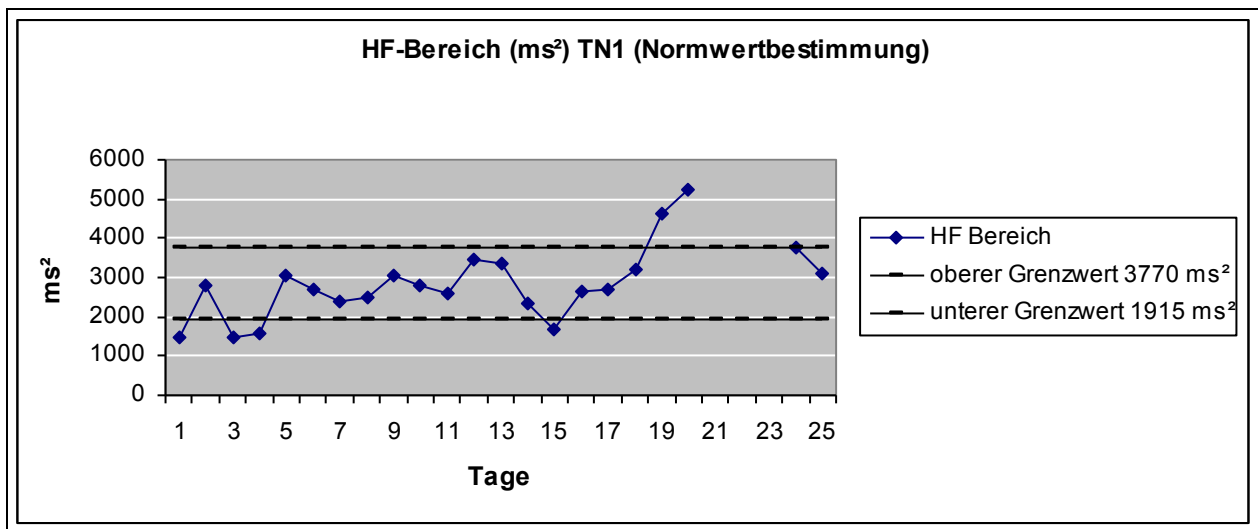


Abb. 69: Verlauf der Werte des HF-Bereichs ( $\text{ms}^2$ ) während der Normwertbestimmung bei TN1

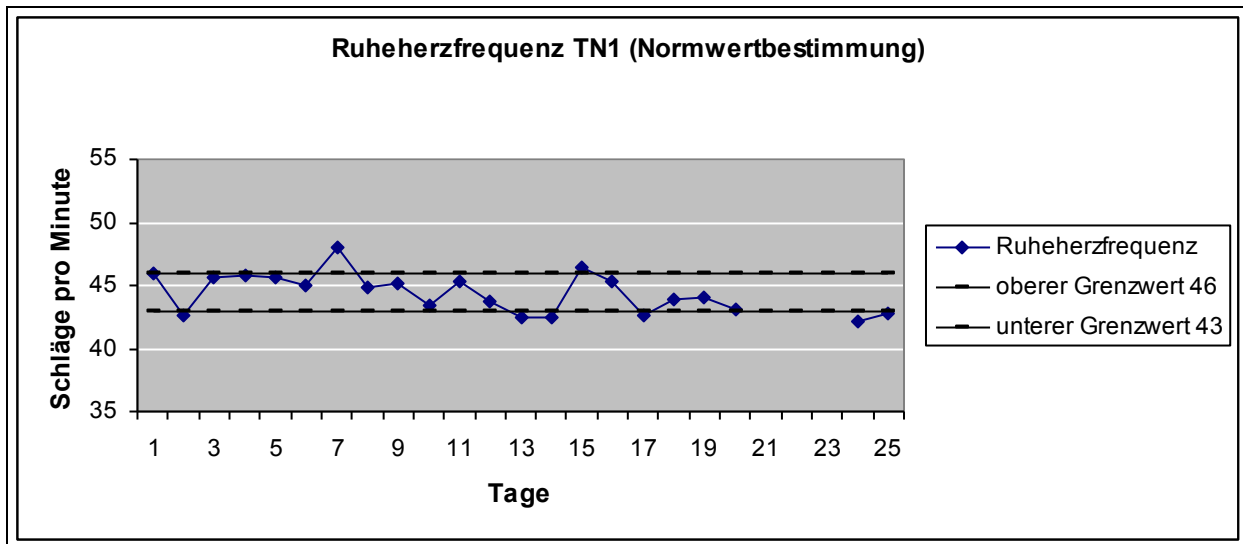


Abb. 70: Verlauf der Ruheherzfrequenz während der Normwertbestimmung bei TN1

Tab. 37: Zusammenfassung der kardiologischen Messparameter während der Normwertbestimmung bei TN1.

	Mittelwert	Standardabweichung	oberer Grenzwert	unterer Grenzwert	Maßeinheit
RRsd	71,26	9,92	81,18	61,34	ms
rMSSD	101,25	15,78	117,03	85,46	ms
SD1	72,17	11,24	83,41	60,94	ms
SD2	117,57	26,81	144,38	90,76	ms
HF (%)	57,04	8,30	65,34	48,73	%
LF (%)	39,62	8,29	47,91	31,11	%
HF (ms <sup>2</sup> )	2842,27	927,29	3769,56	1914,98	ms <sup>2</sup>
LF (ms <sup>2</sup> )	1846,20	751,41	2597,61	1094,79	ms <sup>2</sup>
Ruheherzfrequenz	44,39	1,58	45,97	42,81	Schläge/Min.

### Deutschlandlauf

Die Messungen der Herzfrequenzvariabilität und Ruheherzfrequenz während des Deutschlandlaufs wurden täglich vom 8.9.08 – 24.9.08 durchgeführt, sodass 17 Messtage vorliegen. Die Verläufe der einzelnen Parameter sind in folgenden Abbildungen dargestellt.

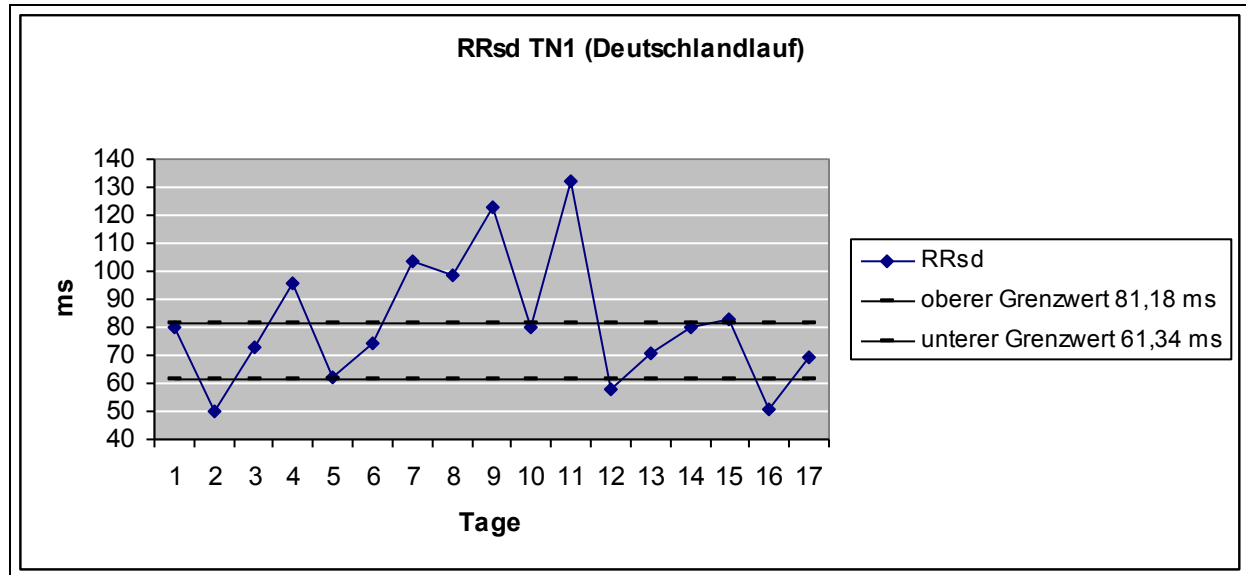


Abb. 71: Verlauf des RRsd während des Deutschlandlaufs bei TN1

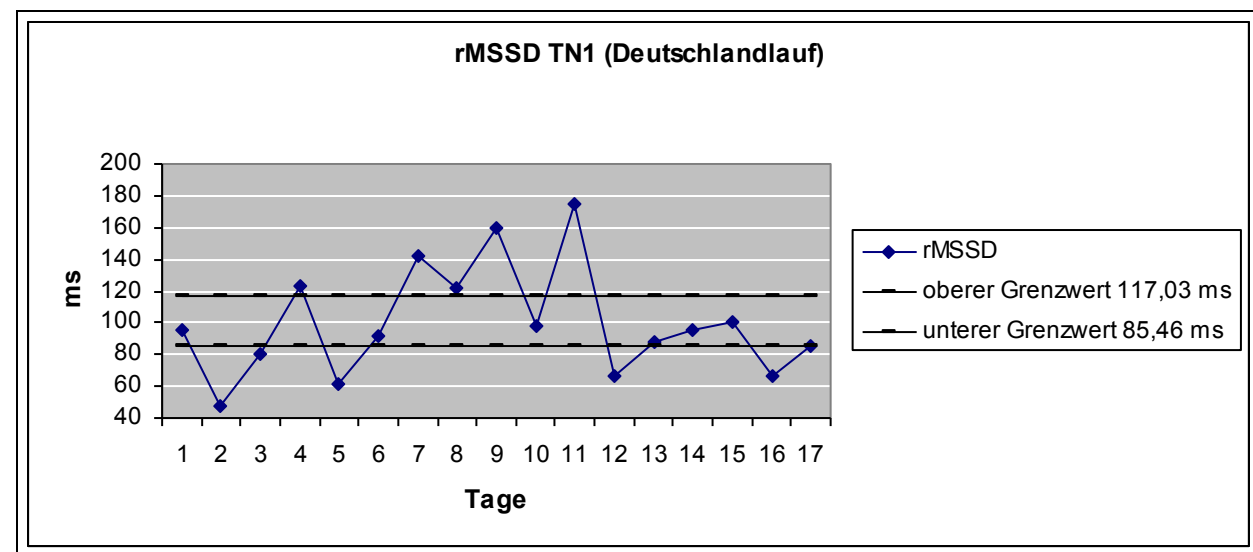


Abb. 72: Verlauf des rMSSD während des Deutschlandlaufs bei TN1

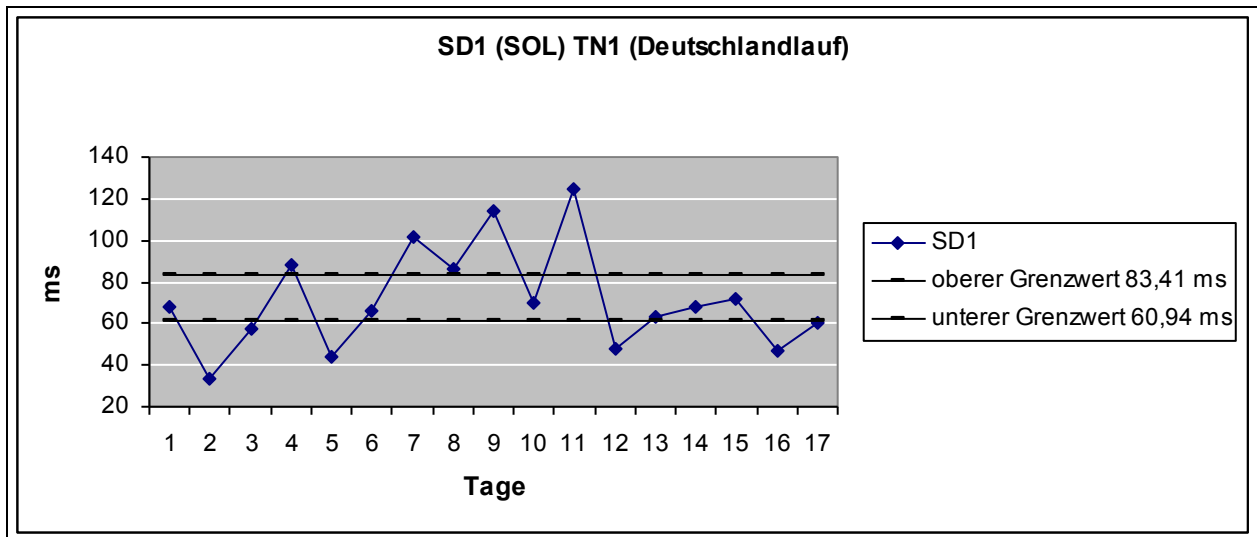


Abb. 73: Verlauf des SD1 während des Deutschlandlaufs bei TN1

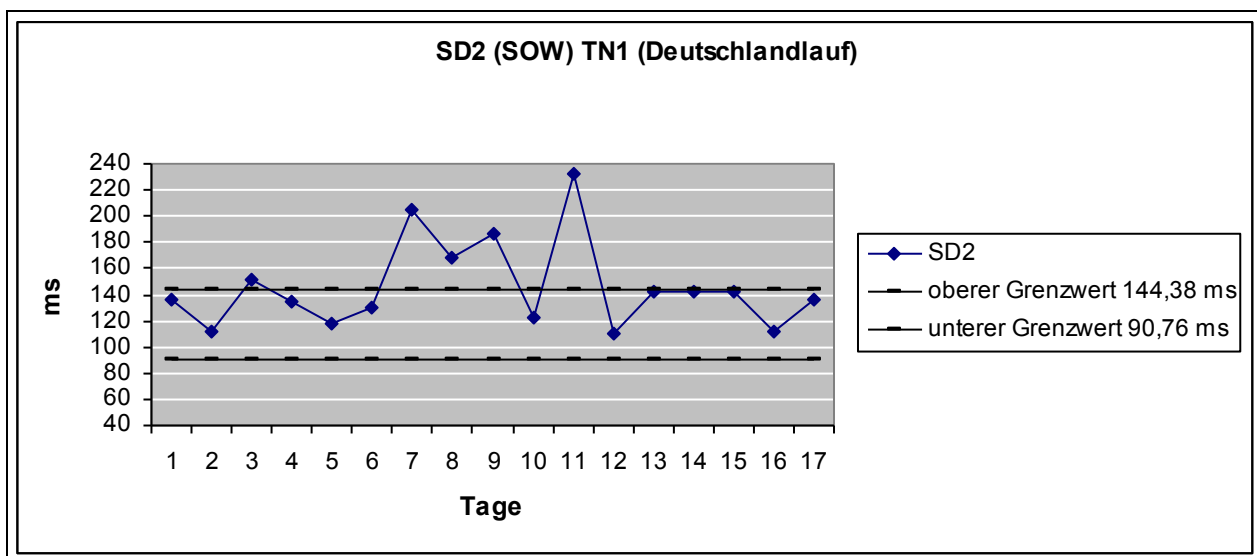


Abb. 74: Verlauf des SD2 während des Deutschlandlaufs bei TN1

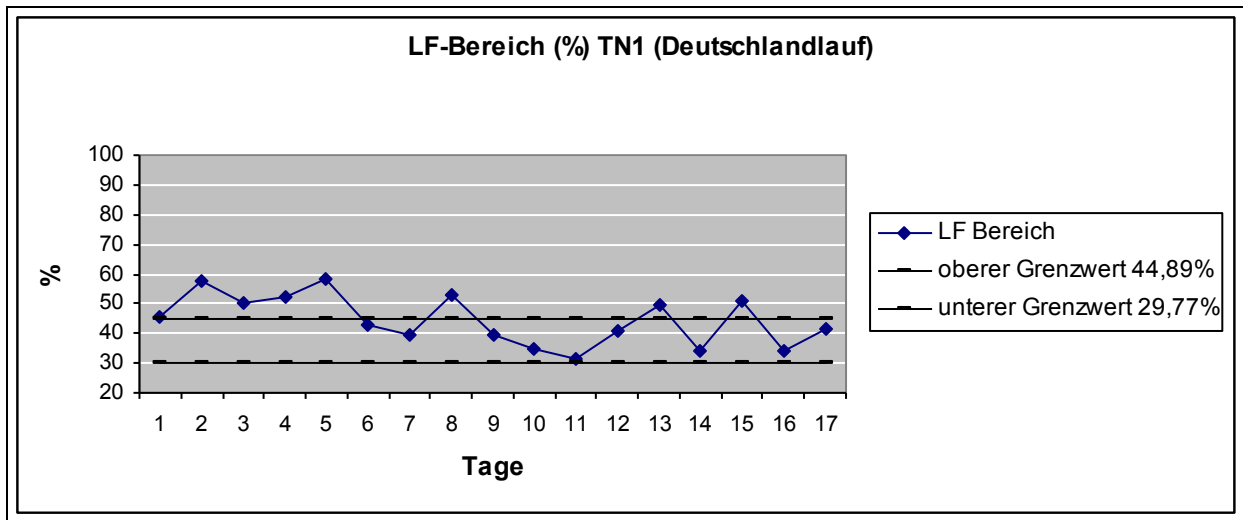


Abb. 75: Verlauf der Werte des LF-Bereichs (%) während des Deutschlandlaufs bei TN1

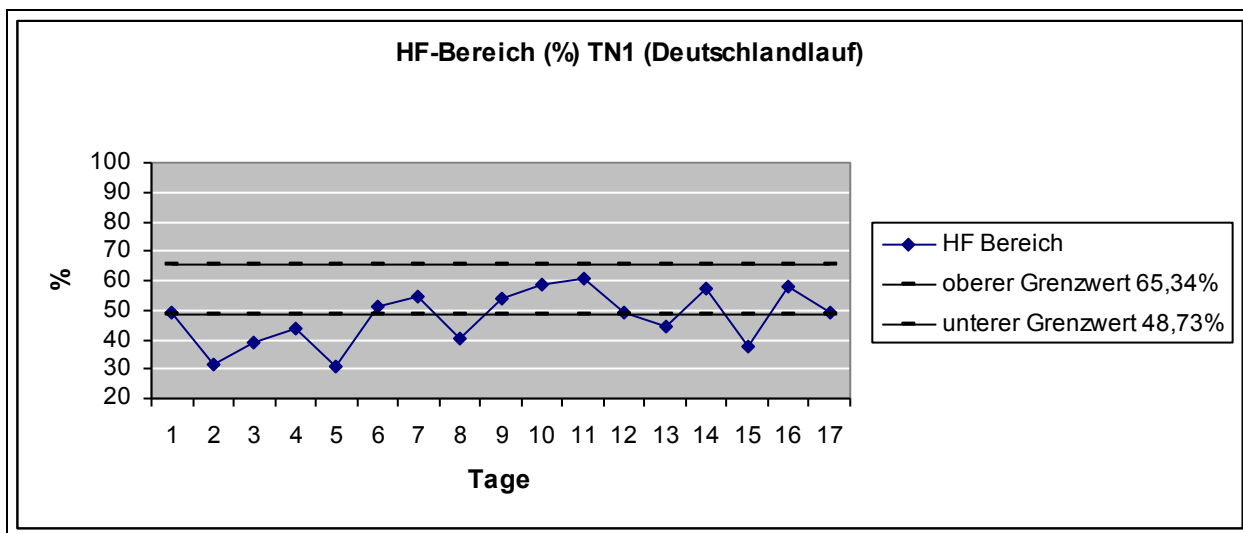


Abb. 76: Verlauf der Werte des HF-Bereichs (%) während des Deutschlandlaufs bei TN1

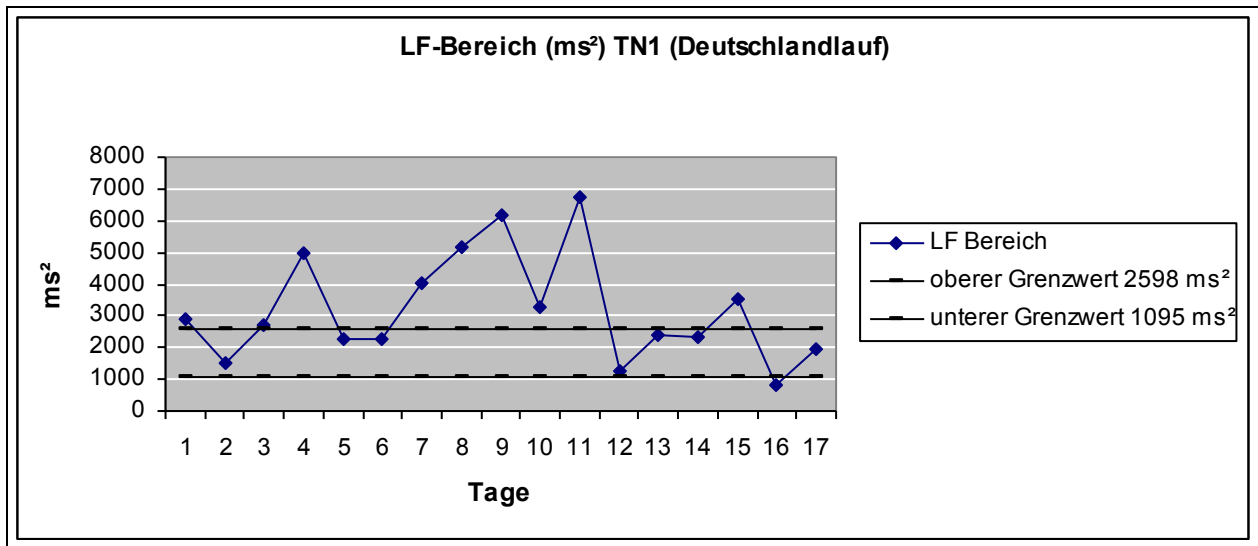


Abb. 77: Verlauf der Werte des LF-Bereichs ( $\text{ms}^2$ ) während des Deutschlandlaufs bei TN1

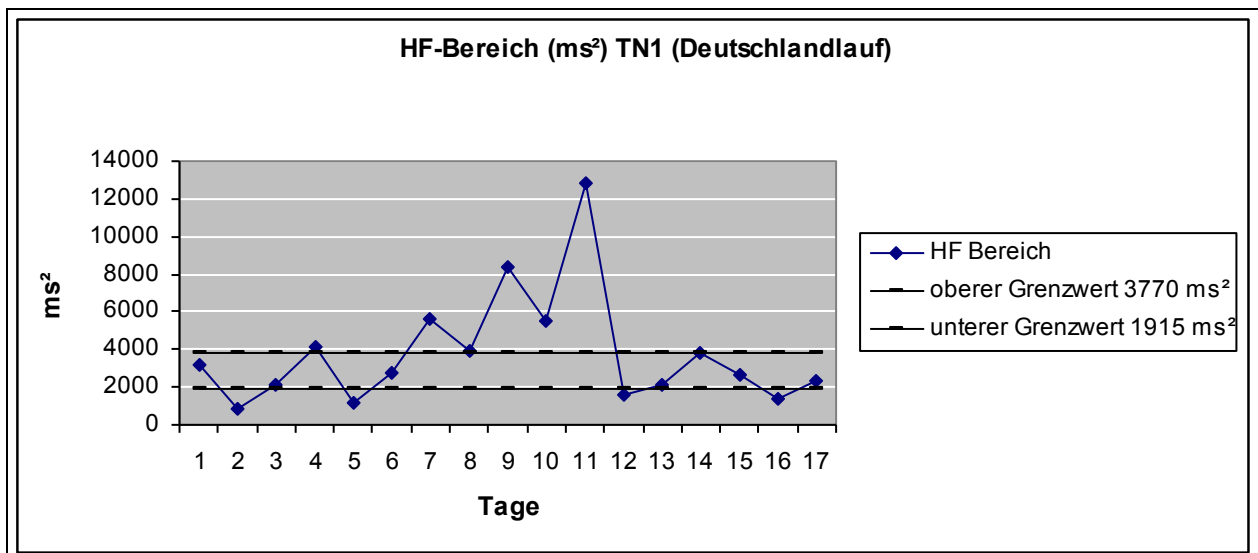


Abb. 78: Verlauf der Werte des HF-Bereichs ( $\text{ms}^2$ ) während des Deutschlandlaufs bei TN1

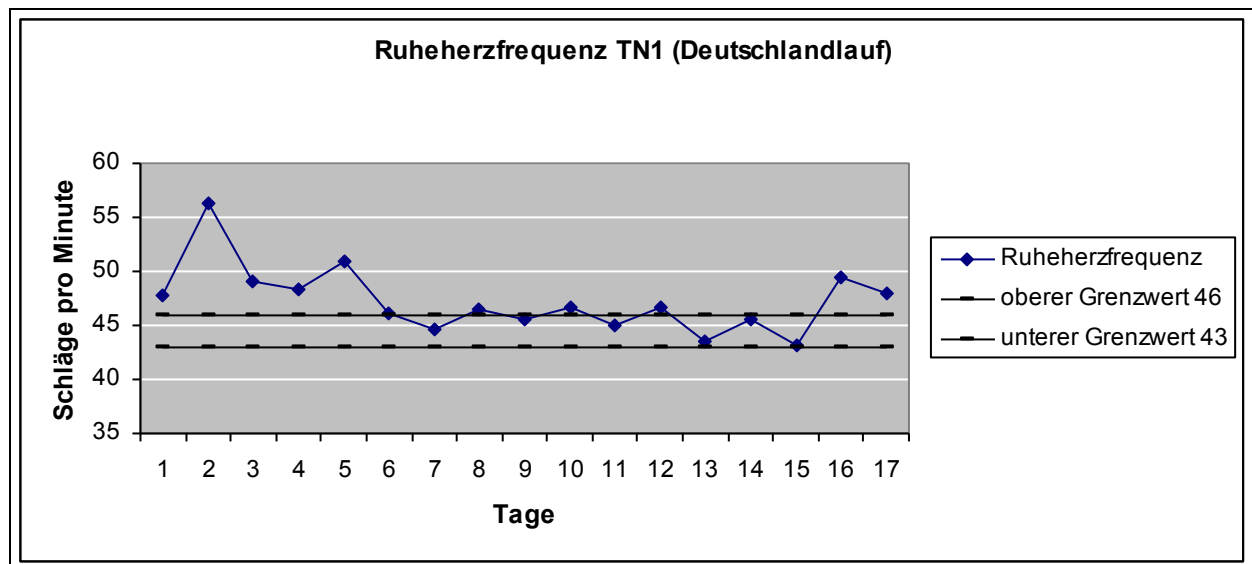


Abb. 79: Verlauf der Ruheherzfrequenz während des Deutschlandlaufs bei TN1

Tab. 38: Zusammenfassung der kardiologischen Messparameter während des Deutschlandlaufs bei TN1.

	Mittelwert	Standardabweichung	oberer Grenzwert	unterer Grenzwert	Maßeinheit
RRsd	81,36	23,02	81,18	61,34	ms
rMSSD	99,85	34,78	117,03	85,46	ms
SD1	71,38	24,77	83,41	60,94	ms
SD2	145,82	34,04	144,38	90,76	ms
HF (%)	47,63	9,37	65,34	48,73	%
LF (%)	44,52	8,47	47,91	31,11	%
HF (ms <sup>2</sup> )	3786,23	3030,46	3769,56	1914,98	ms <sup>2</sup>
LF (ms <sup>2</sup> )	3198,22	1704,62	2597,61	1094,79	ms <sup>2</sup>
Ruheherzfrequenz	47,26	3,14	45,97	42,81	Schläge/Min.

Vor allem die Zeitbereichsparameter RRsd und SD2 sowie die Spektralleistung im HF- und LF-Frequenzband zeigen während des Deutschlandlaufs für TN1, speziell gegen Mitte der Wettkampfphase, im Vergleich zur Normwertbestimmung erhöhte Werte an. An den Wettkampftagen 7 bis 9 zeigen sich ebenso erhöhte Werte der Zeitbereichsparameter rMSSD und SD1.

Die Ruheherzfrequenz bewegt sich im Mittel bei 47 Schlägen pro Minute, 3 Schläge höher als im Mittel während der ersten Messphase. Vergleichsweise hohe Werte zwischen 48 und 56 Schlägen pro Minute liegen an den ersten fünf Wettkampftagen vor.

Während des Deutschlandlaufs treten in Bezug auf die Parameter der Herzfrequenzvariabilität und Ruheherzfrequenz folgende kritische Ereignisse bei TN1 auf:



- Die Werte der Zeitbereichparameter RRsd, rMSSD, SD1 und SD2 liegen vom 7. bis 9. Wettkampftag oberhalb des Normbereichs.
- Der prozentuale HF-Anteil am Gesamtspektrum liegt vom 2. bis 5. Wettkampftag unterhalb des Normbereichs.
- Der prozentuale LF-Anteil am Gesamtspektrum liegt vom 1. bis 5. Wettkampftag oberhalb des Normbereichs.
- Die Spektralleistung im HF-Frequenzband liegt vom 7. bis 11. Wettkampftag oberhalb des Normbereichs.
- Die Spektralleistung im LF-Frequenzband liegt vom 7. bis 11. Wettkampftag oberhalb des Normbereichs.
- Die Ruheherzfrequenz bewegt sich vom 1. bis 5. Wettkampftag oberhalb des Normbereichs.

### Regeneration

Die Messungen während der Regenerationsphase wurden täglich vom 25.9.08 bis 16.10.08 durchgeführt, sodass 21 Datensätze vorliegen. Die Verläufe der einzelnen Parameter sind in folgenden Abbildungen dargestellt.

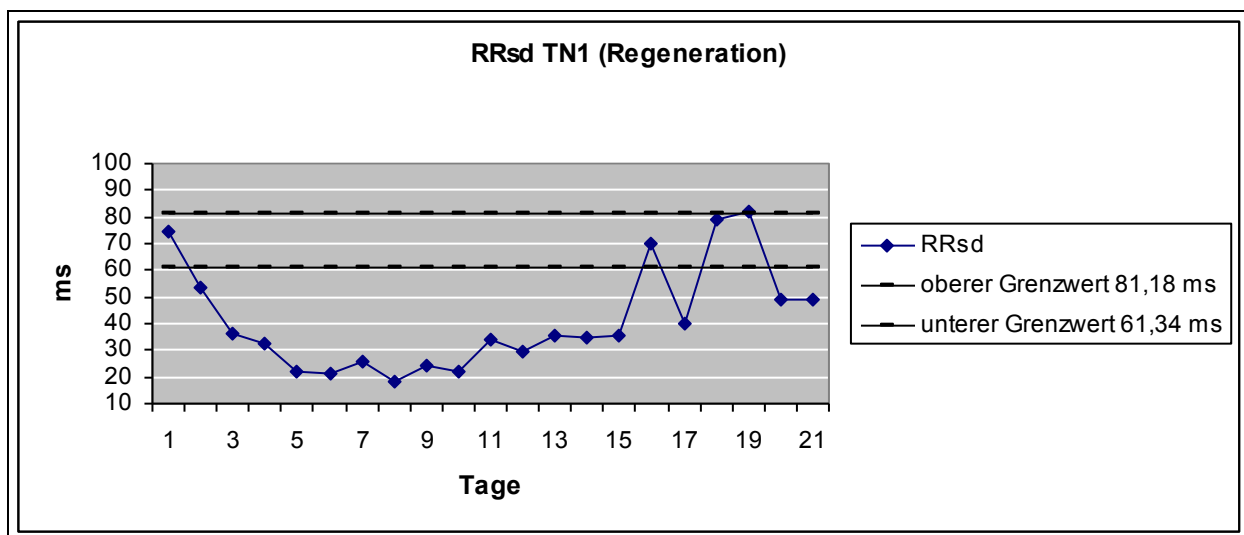


Abb. 80: Verlauf des RRsd während der Regenerationsphase bei TN1

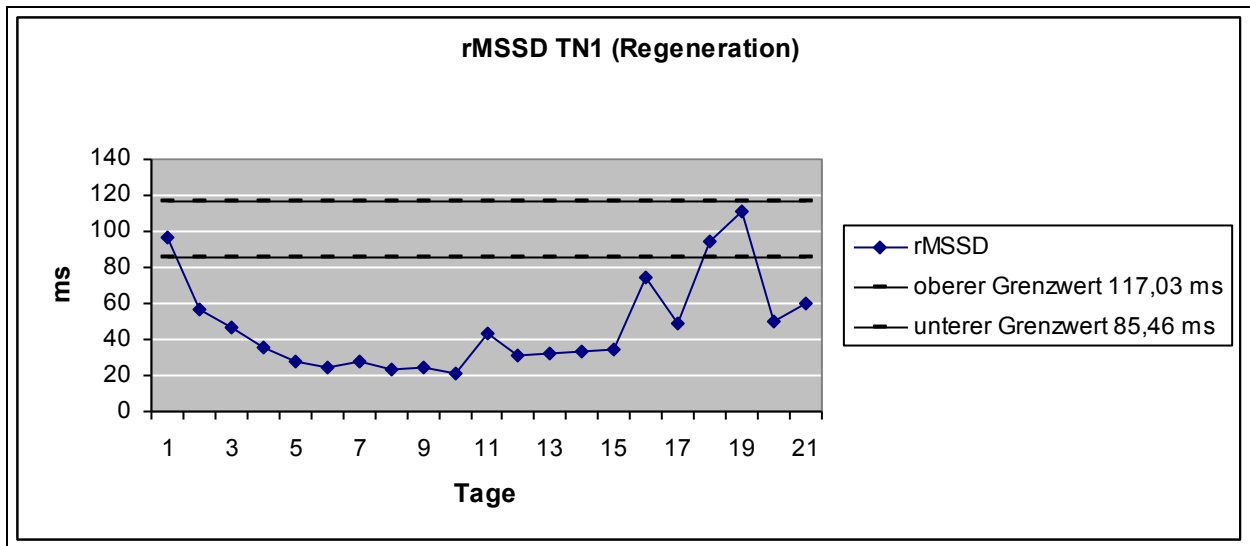


Abb. 81: Verlauf des rMSSD während der Regenerationsphase bei TN1

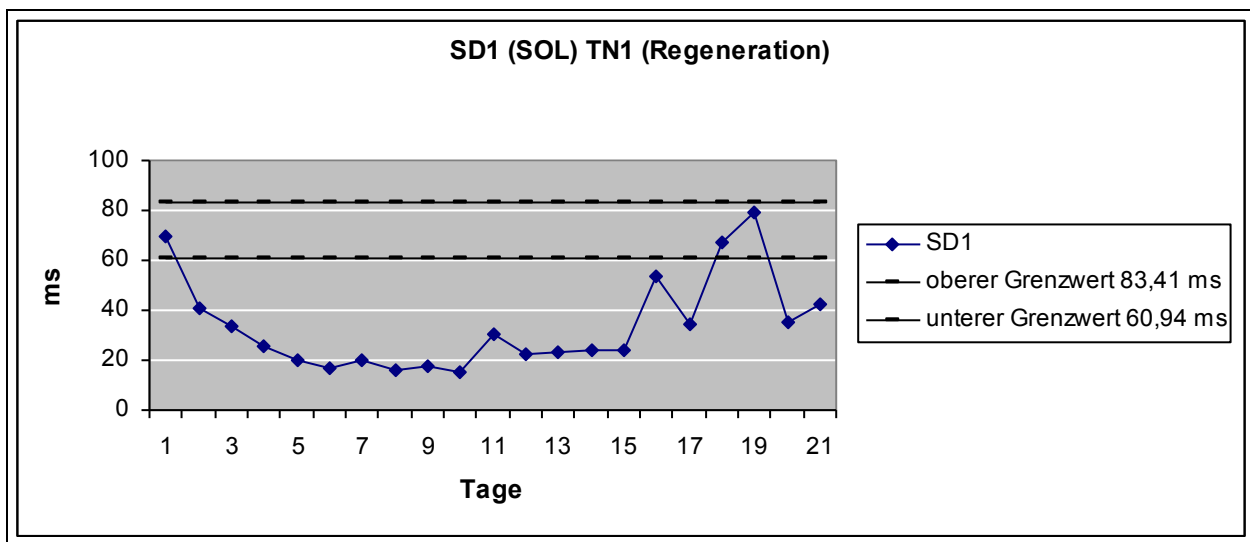


Abb. 82: Verlauf des SD1 während der Regenerationsphase bei TN1

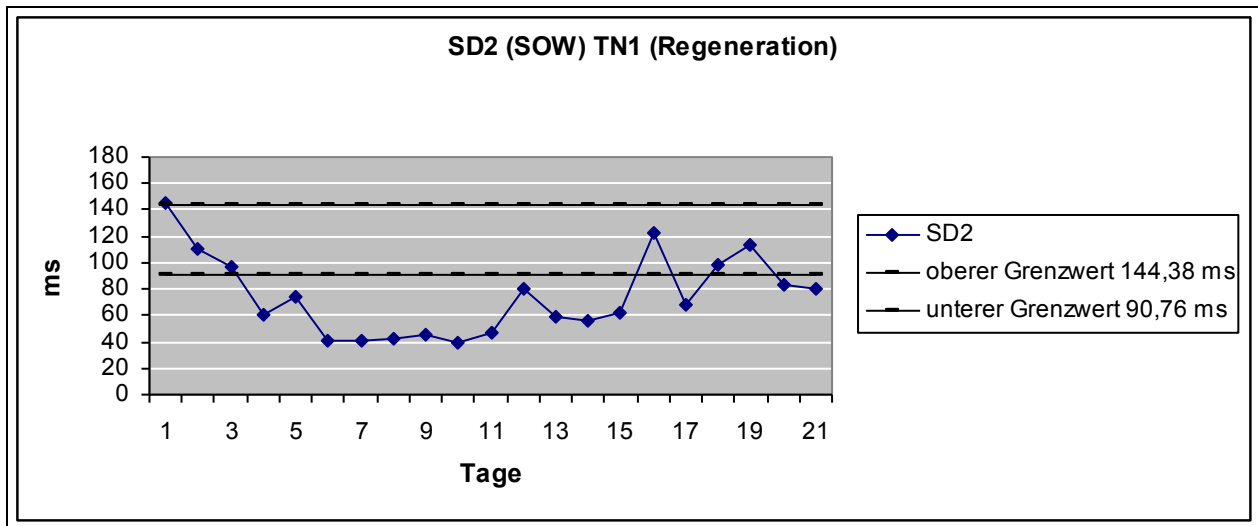


Abb. 83: Verlauf des SD2 während der Regenerationsphase bei TN1

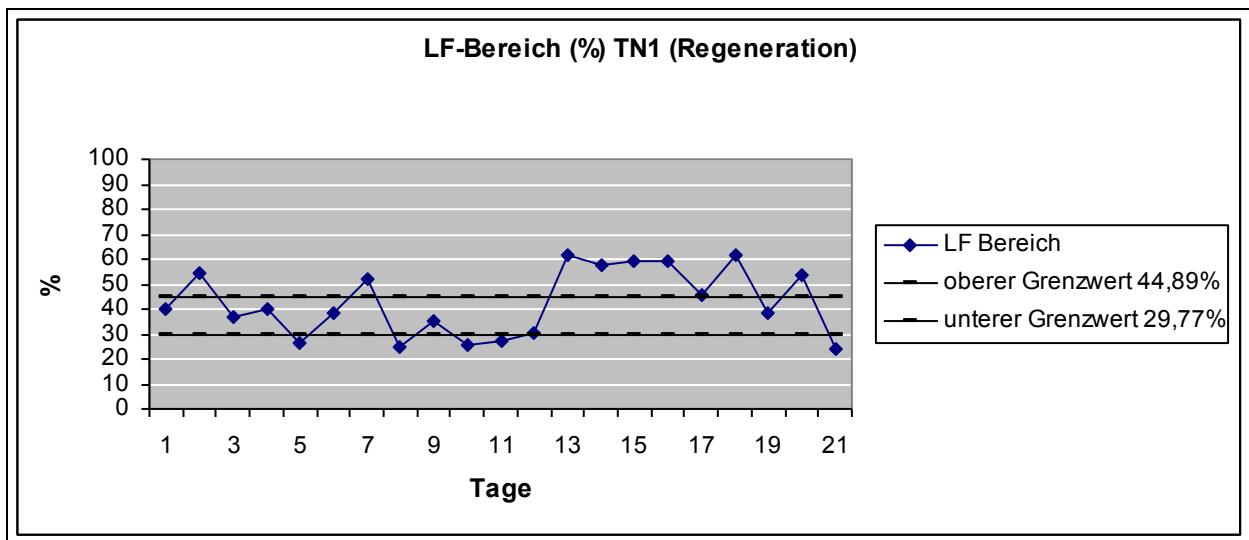


Abb. 84: Verlauf der Werte des LF-Bereichs (%) während der Regenerationsphase bei TN1

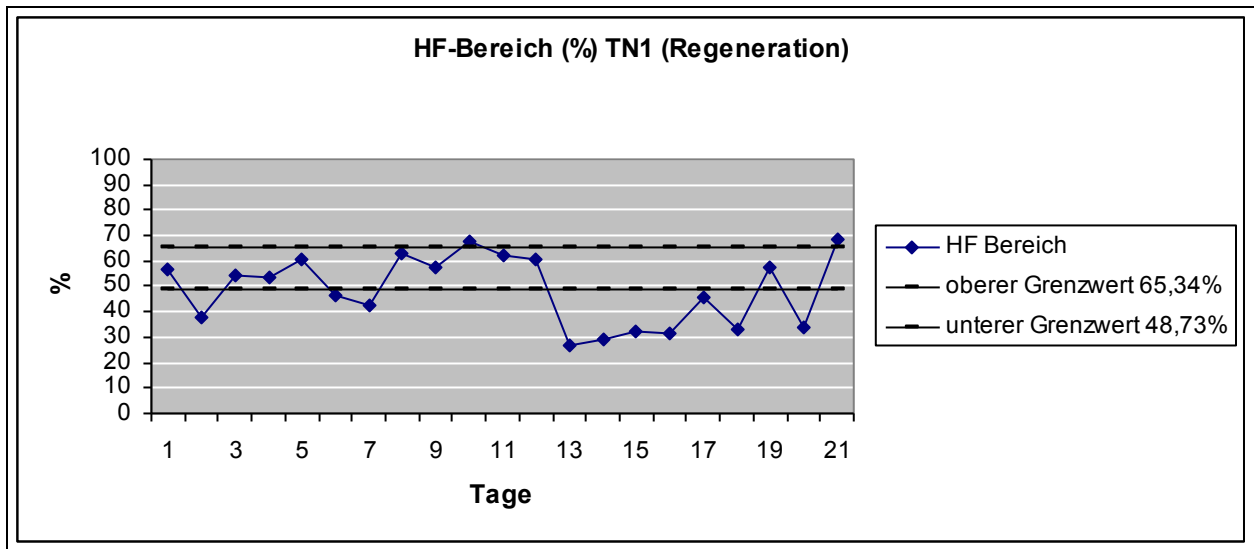


Abb. 85: Verlauf der Werte des HF-Bereichs (%) während der Regenerationsphase bei TN1

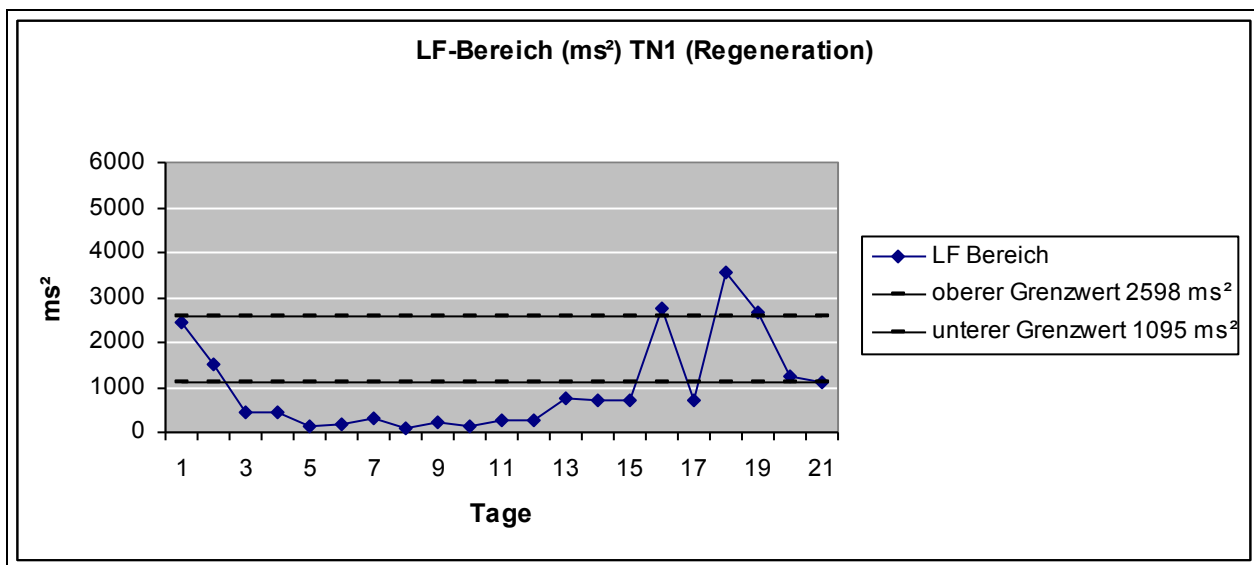


Abb. 86: Verlauf der Werte des LF-Bereichs ( $\text{ms}^2$ ) während der Regenerationsphase bei TN1

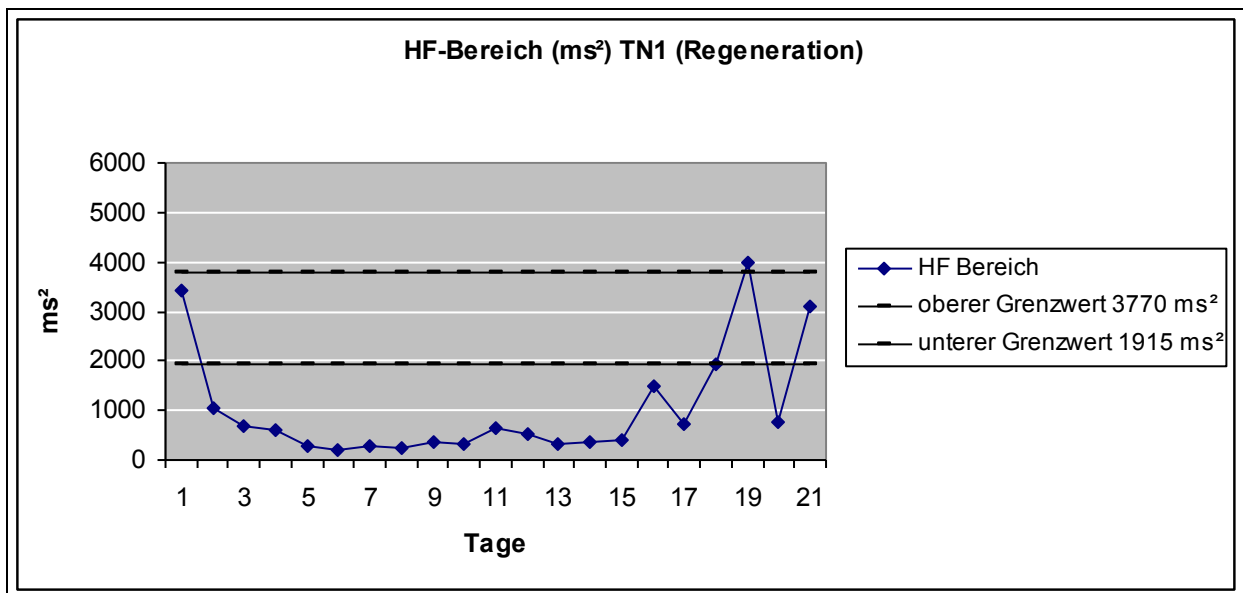


Abb. 87: Verlauf der Werte des HF-Bereichs ( $\text{ms}^2$ ) während der Regenerationsphase bei TN1

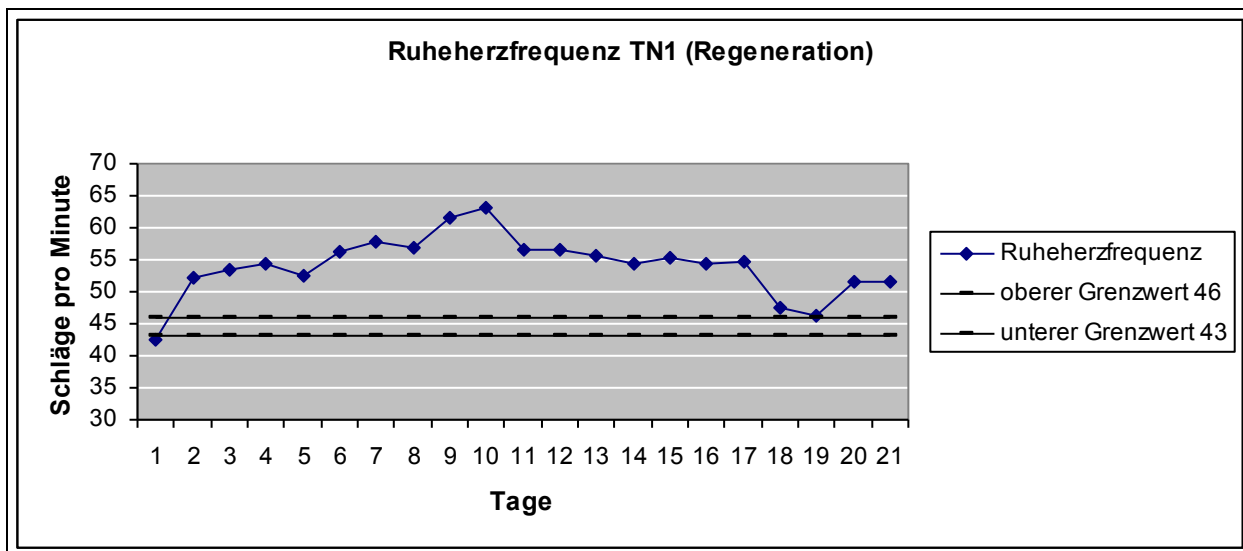


Abb. 88: Verlauf der Ruheherzfrequenz während der Regenerationsphase bei TN1

*Tab. 39: Zusammenfassung der kardiologischen Messparameter während der Regenerationsphase bei TN1*

	Mittelwert	Standardabweichung	oberer Grenzwert	unterer Grenzwert	Maßeinheit
<b>RRsd</b>	41,35	19,88	81,18	61,34	ms
<b>rMSSD</b>	46,46	26,41	117,03	85,46	ms
<b>SD1</b>	33,85	18,81	83,41	60,94	ms
<b>SD2</b>	74,72	30,36	144,38	90,76	ms
<b>HF (%)</b>	48,58	13,71	65,34	48,73	%
<b>LF (%)</b>	42,47	13,36	47,91	31,11	%
<b>HF (ms<sup>2</sup>)</b>	1029,28	1131,78	3769,56	1914,98	ms <sup>2</sup>
<b>LF (ms<sup>2</sup>)</b>	983,93	1025,48	2597,61	1094,79	ms <sup>2</sup>
<b>Ruheherzfrequenz</b>	54,05	4,69	45,97	42,81	Schläge/Min.

Nach dem leichten Anstieg während des Deutschlandlaufs folgt ein deutliches und dauerhaftes Absinken der Herzfrequenzvariabilität während der Regenerationsphase. Sowohl die Werte der vagal modulierten Zeitbereichsparameter rMSSD, SD1 und die Spektralleistung im HF-Frequenzband, als auch die Werte der gemischt sympathisch-parasympathisch modulierten Zeitbereichsparameter RRsd, SD2 und die Spektralleistung im LF-Frequenzband bewegen sich nahezu während der gesamten Regenerationsphase unterhalb der vordefinierten Normbereiche. Zeitgleich kommt es zu einem deutlichen Anstieg der Ruheherzfrequenz.

Folgende kritische Ereignisse treten in Bezug auf die Parameter der Herzfrequenzvariabilität und die Ruheherzfrequenz auf:

- Die Werte der Zeitbereichsparameter rMSSD und SD1 unterschreiten den Normbereich vom 2. bis 17. Regenerationstag.
- Die Werte des Zeitbereichsparameters RRsd unterschreiten den Normbereich vom 2. bis 15. Regenerationstag.
- Die Werte des Zeitbereichsparameters SD2 unterschreiten den Normbereich vom 4. bis 15. Regenerationstag.
- Der prozentuale HF-Anteil am Gesamtspektrum unterschreitet den Normbereich vom 13. bis 18. Regenerationstag.
- Der prozentuale LF-Anteil am Gesamtspektrum überschreitet den Normbereich vom 13. bis 18. Regenerationstag.
- Die Spektralleistung im HF-Frequenzband unterschreitet den Normbereich vom 2. bis 17. Regenerationstag.
- Die Spektralleistung im LF-Frequenzband unterschreitet den Normbereich vom 3. bis 15. Regenerationstag .
- Die Ruheherzfrequenz überschreitet den Normbereich vom 2. bis 18. Regenerationstag

### 5.2.4.2 TN2

#### Normwertbestimmung

Die Parameter der Herzfrequenzvariabilität wurden im Zeitfenster vom 27.08.08 bis 6.9.08 ermittelt, also in einer Trainingsphase mit geringer Intensität, unmittelbar vor Beginn des Deutschlandlaufs.

Insgesamt fanden elf Messungen für die Erstellung des Normwertbereichs Berücksichtigung.

Die Darstellung der einzelnen Parameterverläufe und ermittelten Grenzwerte erfolgt anhand der nachstehend aufgeführten Abbildungen.

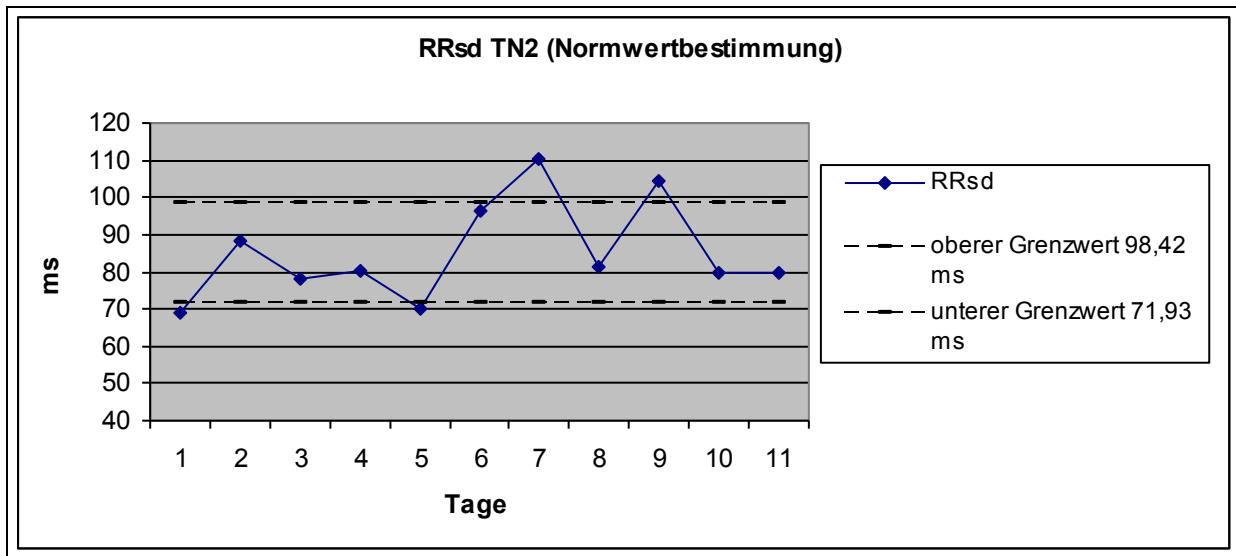


Abb. 89: Verlauf des RRsd während der Normwertbestimmung bei TN2

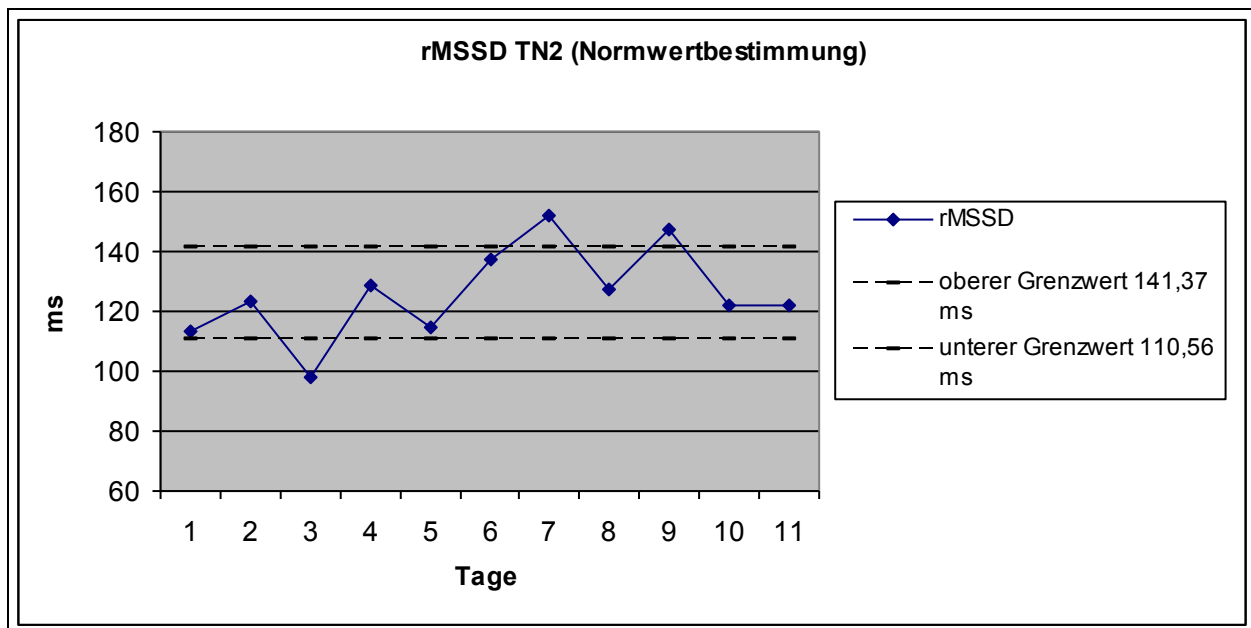


Abb. 90: Verlauf des rMSSD während der Normwertbestimmung bei TN2

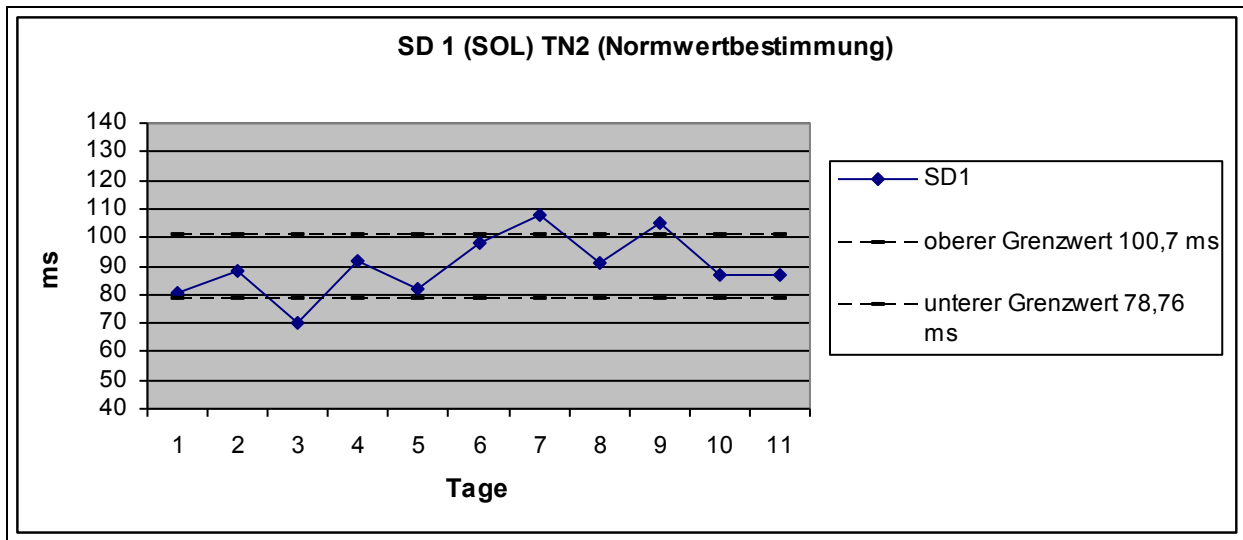


Abb. 91: Verlauf des SD1 während der Normwertbestimmung bei TN2

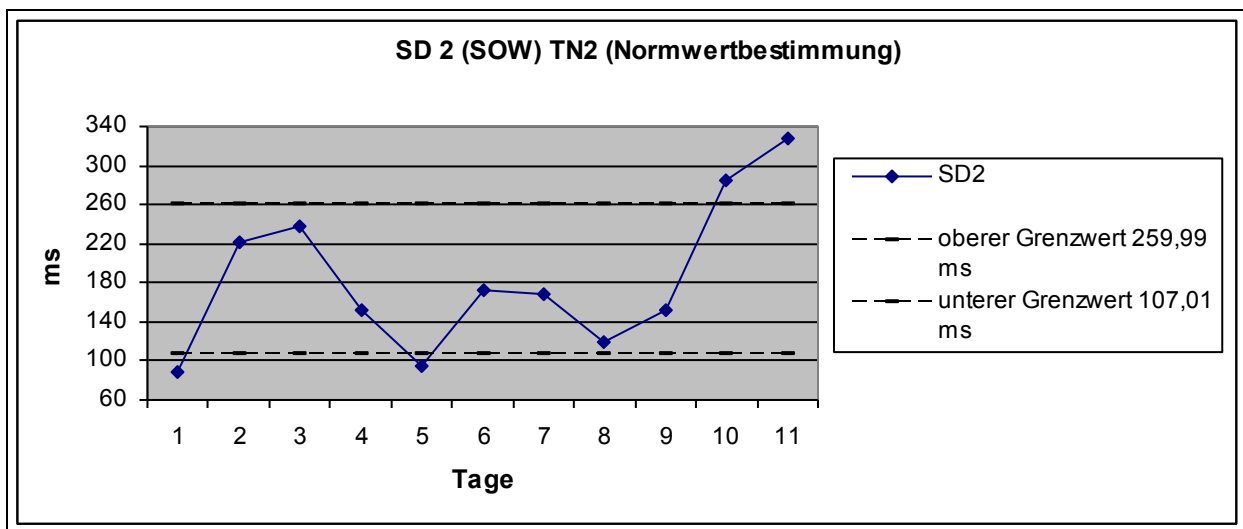


Abb. 92: Verlauf des SD2 während der Normwertbestimmung bei TN2



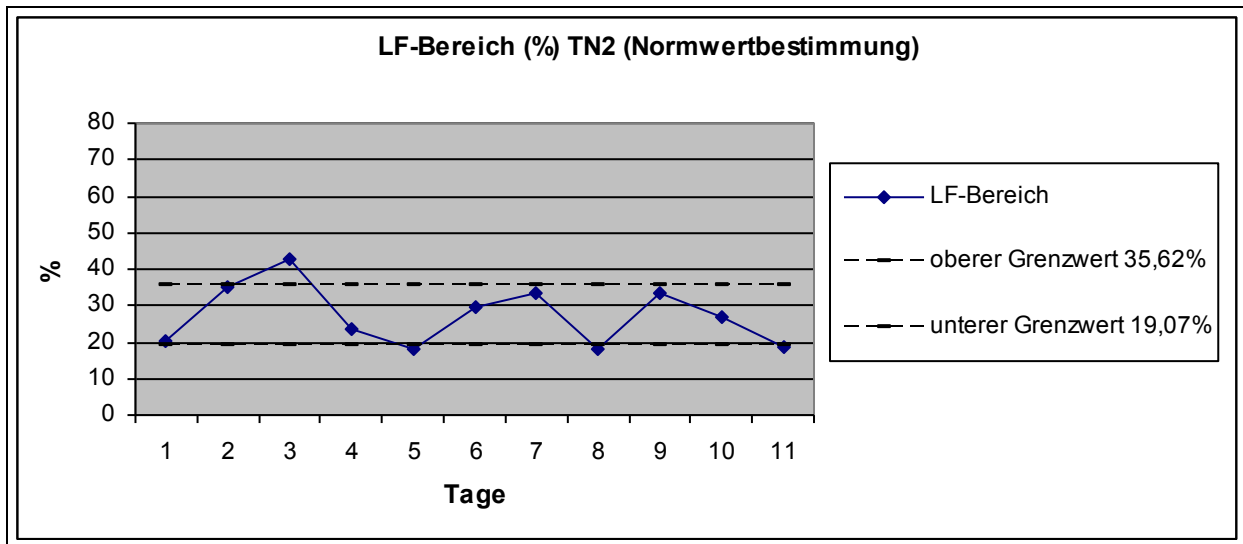


Abb. 93: Verlauf der Werte des LF-Bereichs (%) während der Normwertbestimmung bei TN2

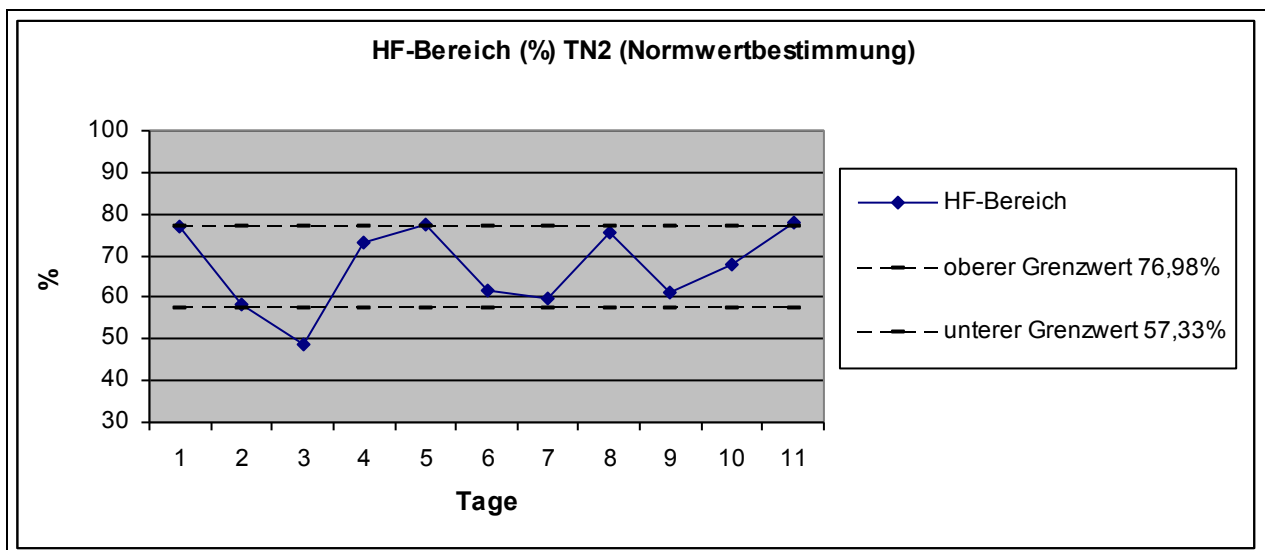


Abb. 94: Verlauf der Werte des HF-Bereichs (%) während der Normwertbestimmung bei TN2

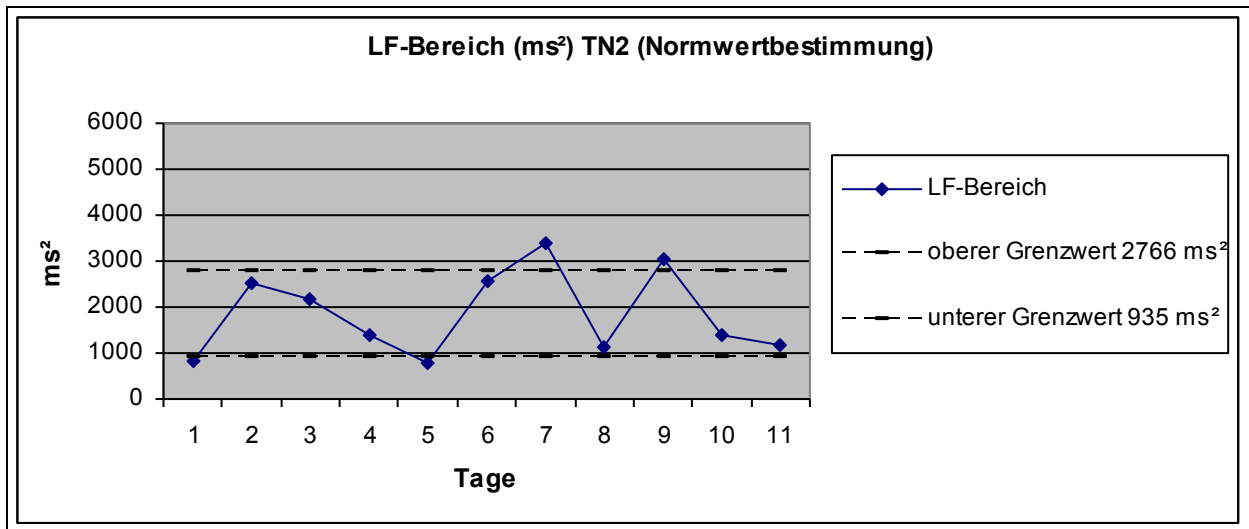


Abb. 95: Verlauf der Werte des LF-Bereichs ( $\text{ms}^2$ ) während der Normwertbestimmung bei TN2

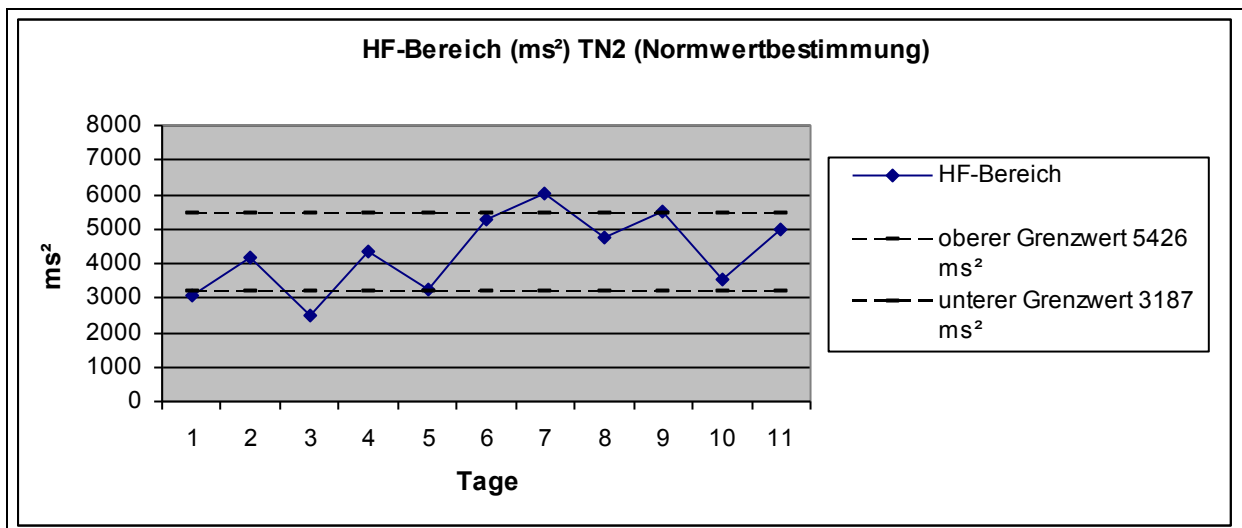


Abb. 96: Verlauf der Werte des HF-Bereichs während der Normwertbestimmung bei TN2

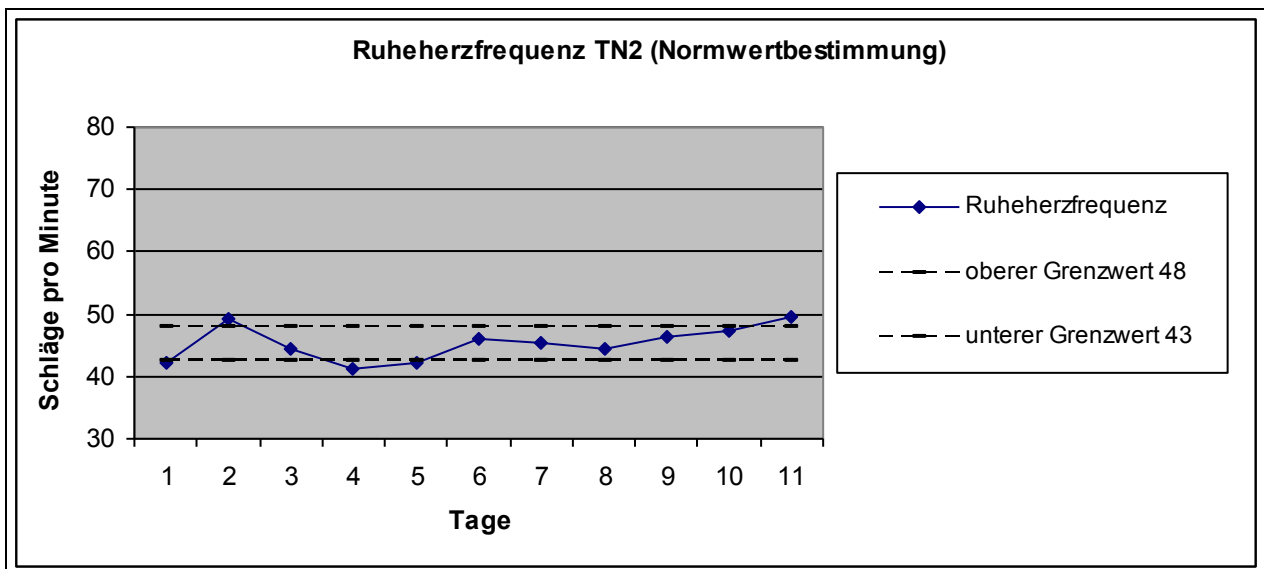


Abb. 97: Verlauf der Ruheherzfrequenz während der Normwertbestimmung bei TN2

Tab. 40: Zusammenfassung der kardiologischen Messparameter während der Normwertbestimmung bei TN2.

	Mittelwert	Standardabweichung	oberer Grenzwert	unterer Grenzwert	Maßeinheit
RRsd	85,17	13,24	98,42	71,93	ms
rMSSD	125,96	15,4	141,37	110,56	ms
SD1	89,73	10,97	100,70	78,76	ms
SD2	183,50	76,49	259,99	107,01	ms
HF (%)	67,16	9,82	76,98	57,33	%
LF (%)	27,34	8,27	35,62	19,07	%
HF (ms <sup>2</sup> )	4306,25	1119,63	5425,88	3186,62	ms <sup>2</sup>
LF (ms <sup>2</sup> )	1850,28	915,62	2765,89	934,66	ms <sup>2</sup>
Ruheherzfrequenz	45,31	2,79	48,10	42,52	Schläge/Min.

*Deutschlandlauf*

Die Messungen der Herzfrequenzvariabilität und Herzfrequenz wurden täglich vom 8.9.08 bis 15.9.08 durchgeführt, es liegen somit acht Messzeitpunkte vor. Die Verläufe der einzelnen Parameter sind in folgenden Abbildungen dargestellt.

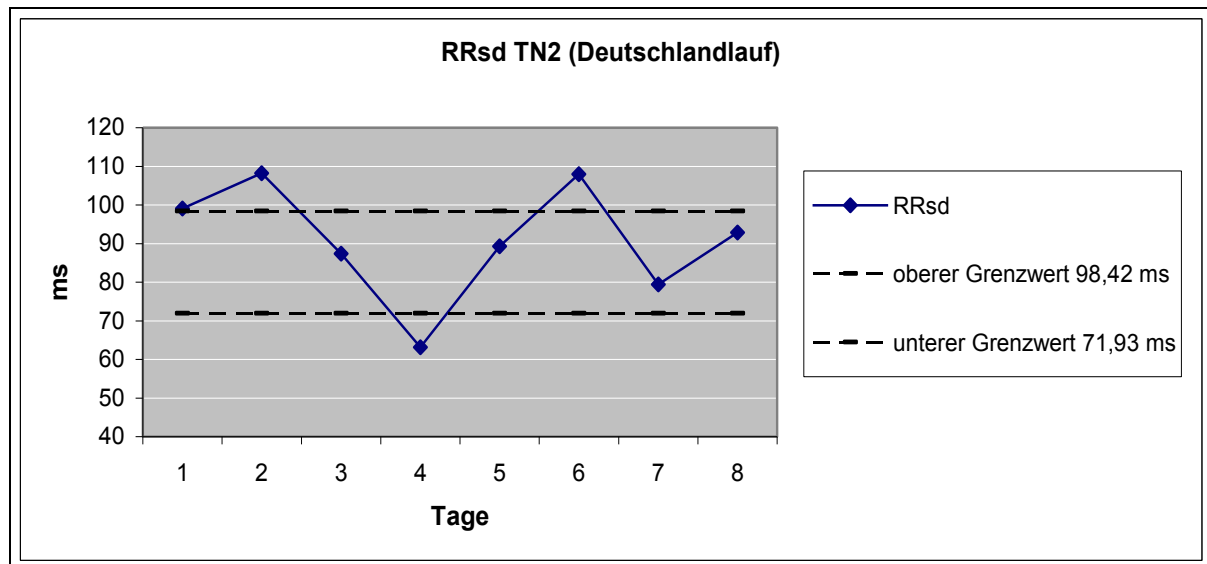


Abb. 98: Verlauf des RRsd während des Deutschlandlaufs bei TN2

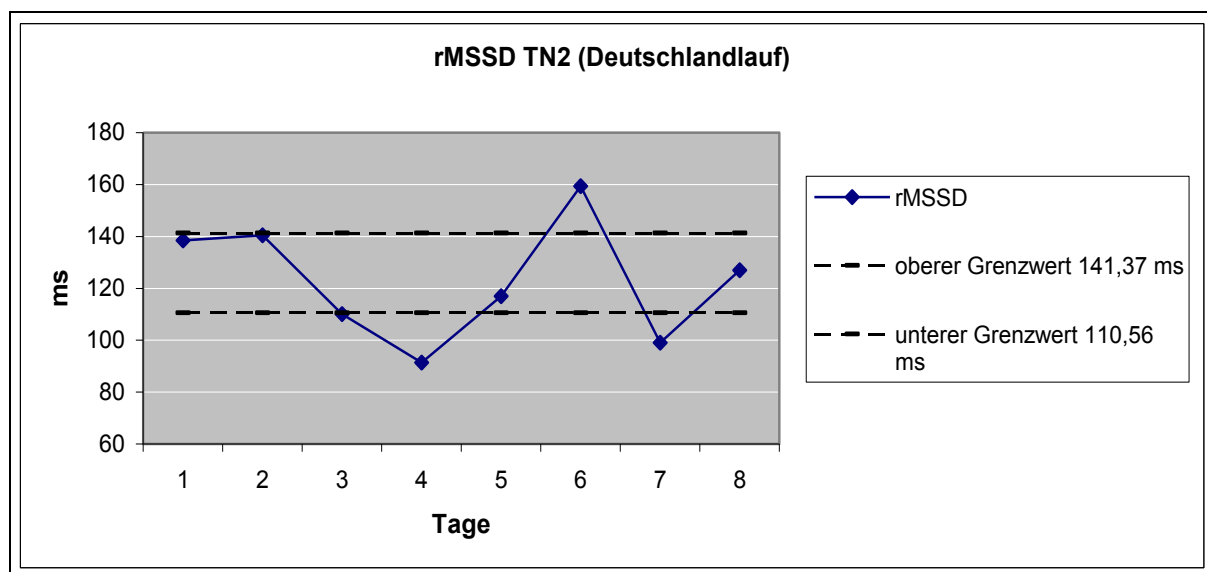


Abb. 99: Verlauf des rMSSD während des Deutschlandlaufs bei TN2

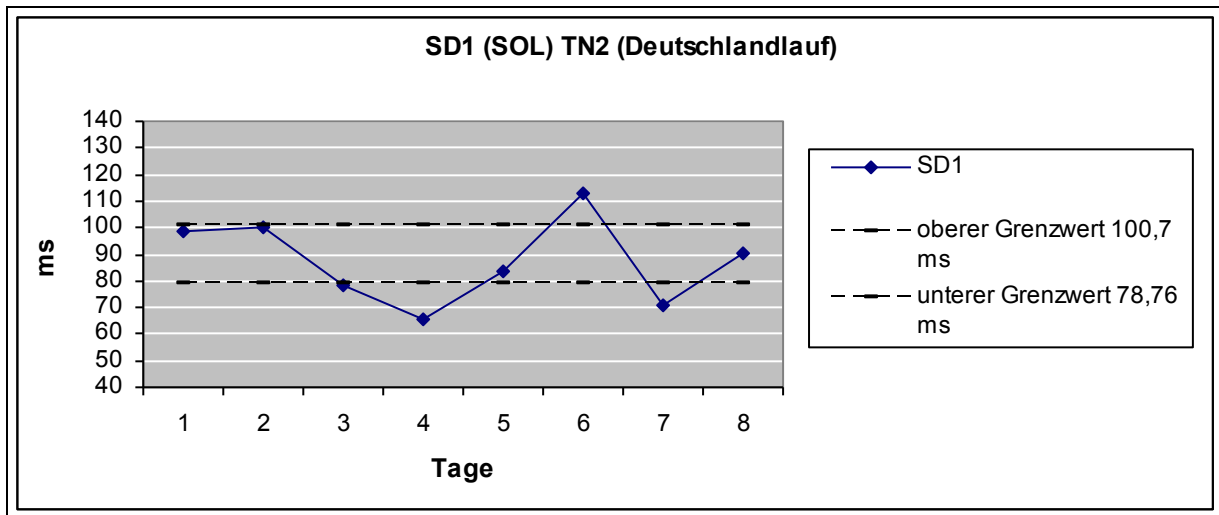


Abb. 100: Verlauf des SD1 während des Deutschlandlaufs bei TN2

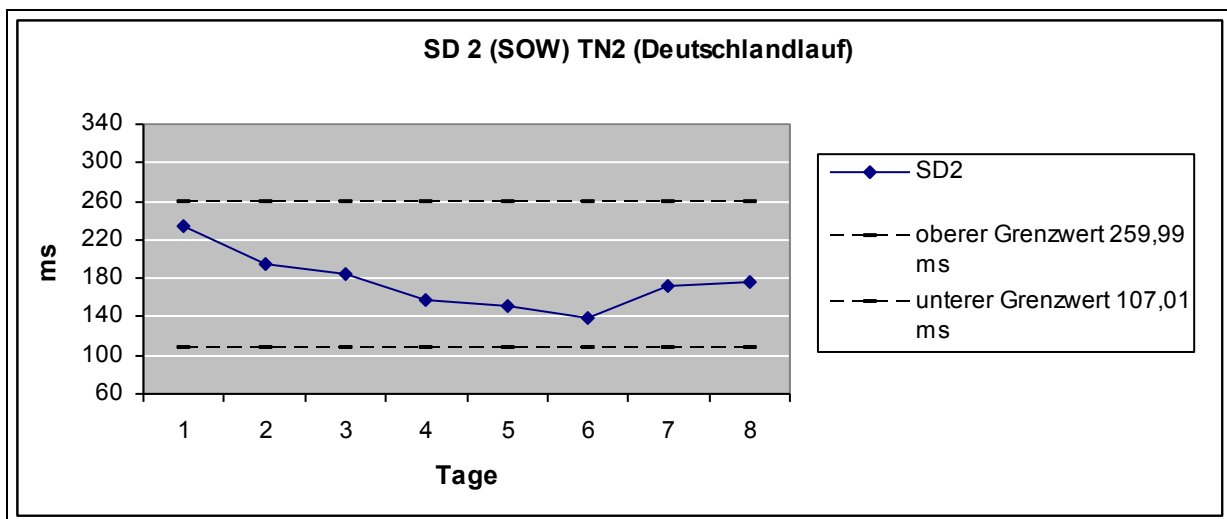


Abb. 101: Verlauf des SD2 während des Deutschlandlaufs bei TN2

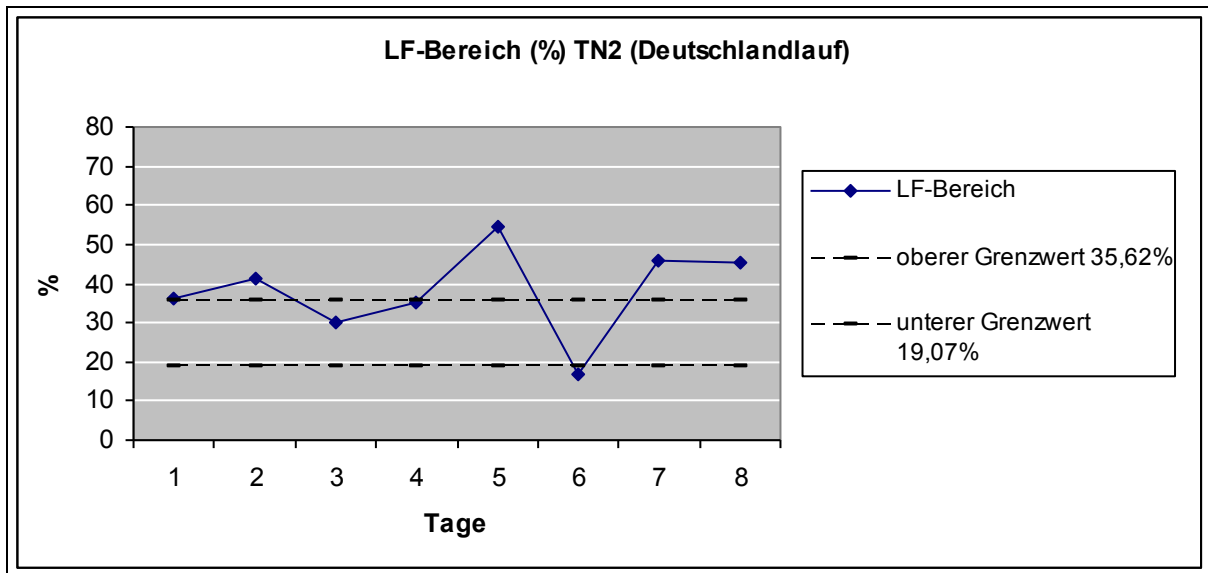


Abb. 102: Verlauf der Werte des LF-Bereichs (%) während des Deutschlandlaufs bei TN2

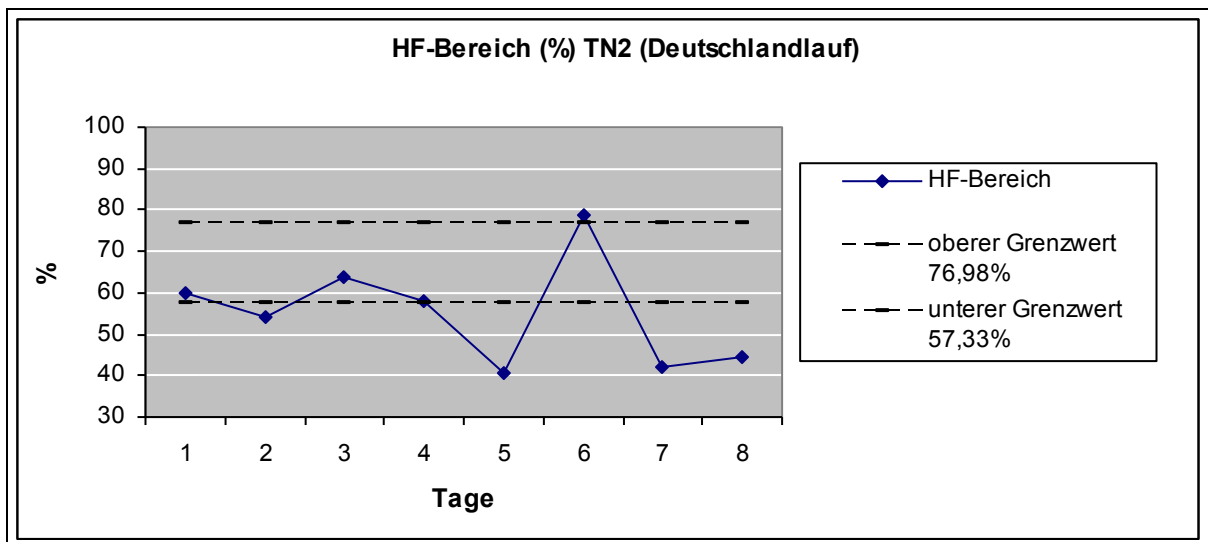


Abb. 103: Verlauf der Werte des HF-Bereichs (%) während des Deutschlandlaufs bei TN2

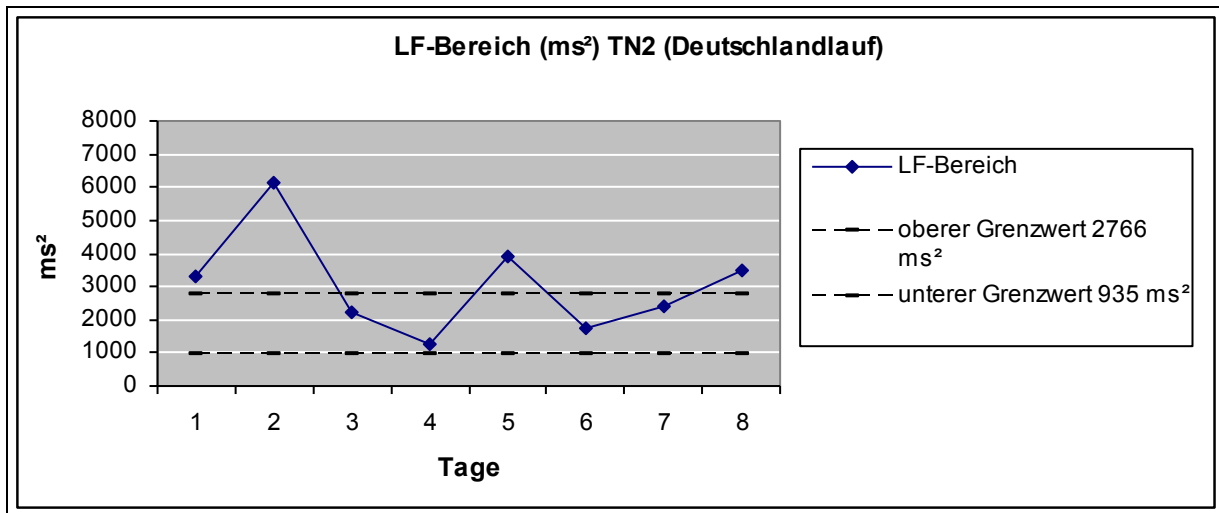


Abb. 104: Verlauf der Werte des LF-Bereichs ( $\text{ms}^2$ ) während des Deutschlandlaufs bei TN2

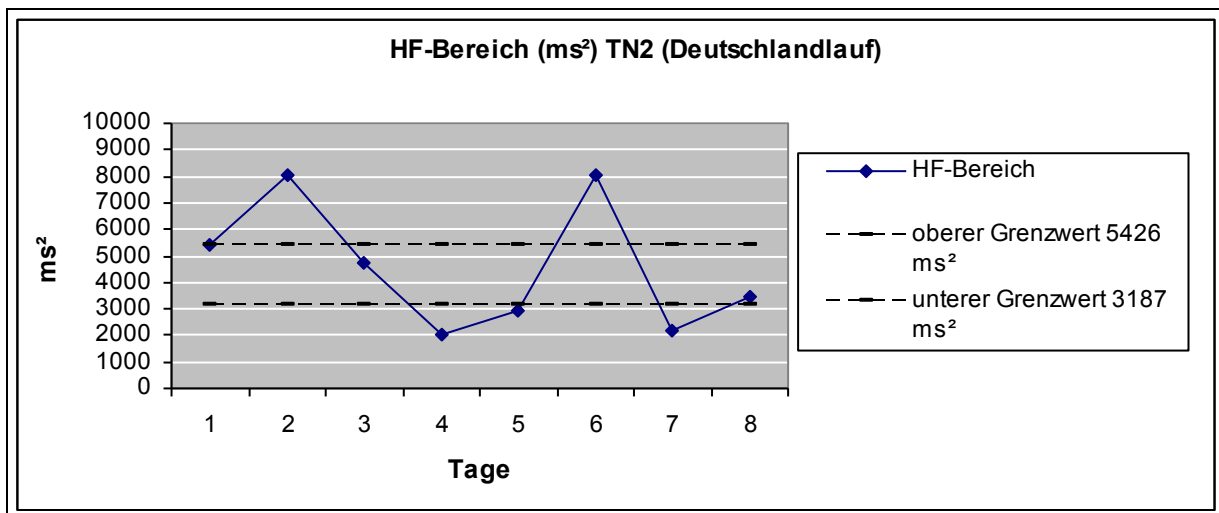


Abb. 105: Verlauf der Werte des HF-Bereichs ( $\text{ms}^2$ ) während des Deutschlandlaufs bei TN2

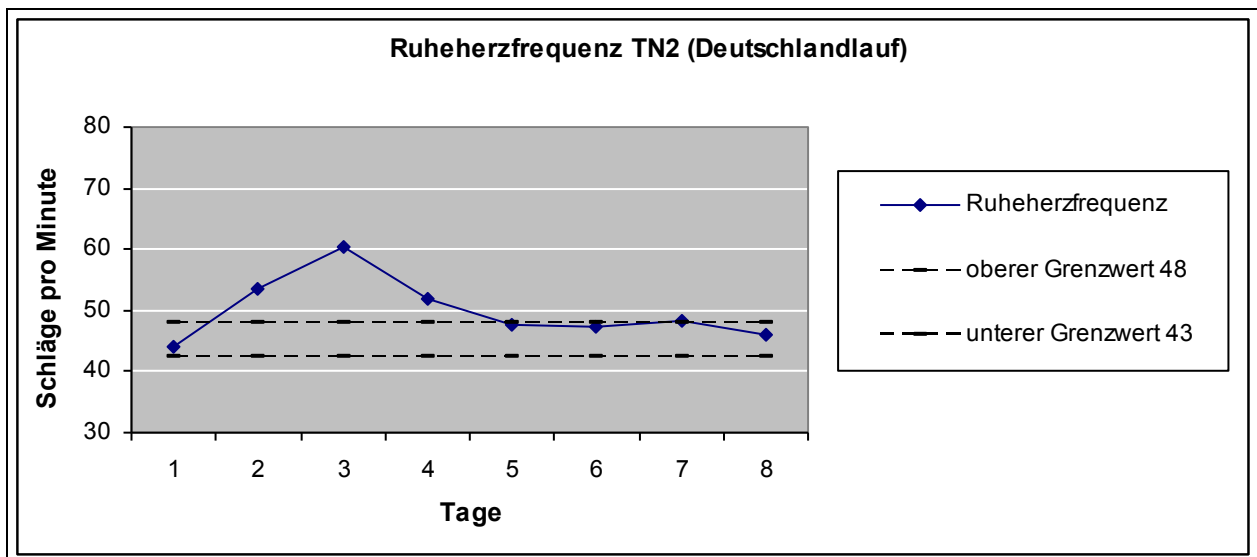


Abb. 106: Verlauf der Ruheherzfrequenz während des Deutschlandlaufs bei TN2

Tab. 41: Zusammenfassung der kardiologischen Messparameter während des Deutschlandlaufs bei TN2.

	Mittelwert	Standardabweichung	oberer Grenzwert	unterer Grenzwert	Maßeinheit
<b>RRsd</b>	90,93	15,01	98,42	71,93	ms
<b>rMSSD</b>	122,87	22,84	141,37	110,56	ms
<b>SD1</b>	87,54	16,16	100,70	78,76	ms
<b>SD2</b>	176,18	29,51	259,99	107,01	ms
<b>HF (%)</b>	55,16	12,92	76,98	57,33	%
<b>LF (%)</b>	38,14	11,48	35,62	19,07	%
<b>HF (ms<sup>2</sup>)</b>	4610,48	2422,70	5425,88	3186,62	ms <sup>2</sup>
<b>LF (ms<sup>2</sup>)</b>	3058,30	1542,19	2765,89	934,66	ms <sup>2</sup>
<b>Ruheherzfrequenz</b>	49,89	5,24	48,10	42,52	Schläge/Min.

Kritische Ereignisse im Verlauf der Wettkampfphase zeigen sich für keinen Parameter der Herzfrequenzvariabilität. Auszumachen ist eine reduzierte Herzfrequenzvariabilität am vierten Wettkampftag mit den Tiefstwerten der Parameter rMSSD, SD1 und RRsd sowie der Spektralleistung im HF-Frequenzband. Trotz auftretender Verletzungen kommt es an den folgenden beiden Wettkampftagen zu einem erneuten Anstieg der Werte der genannten Parameter, bevor diese einen erneuten Tiefpunkt am vorletzten Wettkampftag erreichen.

Die Spektralleistung im LF-Frequenzband zeigt für TN2 während des Deutschlandlaufs im Mittel deutlich höhere Werte als während der Normwertbestimmung an, während die Spektralleistung im HF-Frequenzband sowie die übrigen Parameter der Herzfrequenzvariabilität ein gleich bleibendes Niveau aufweisen.

Die Ruheherzfrequenz bewegt sich im Mittel bei 50 Schlägen pro Minute, 5 Schläge höher als während der Normwertbestimmung. Vom zweiten bis vierten Wettkampftag liegt die Ruheherz-



frequenz oberhalb des Normbereichs, es liegt ein kritisches Ereignis vor, das den ersten verletzungsbedingten Problemen am fünften Wettkampftag unmittelbar vorausgeht.

Insgesamt auffällig sind die hohen Schwankungen der Ruheherzfrequenzwerte zu Wettkampfbeginn. Während sich die Werte während der Normwertmessungen zwischen 41 und maximal 50 Schlägen pro Minute bewegen, wird bereits am dritten Wettkampftag ein maximaler Wert von 60 Schlägen pro Minute erreicht.

### Regeneration

Die Verläufe der Parameter der Herzfrequenzvariabilität während der Regenerationsphase sind anhand nachstehender Abbildungen dargestellt. Die Messungen wurden täglich vom 16.9.08 bis 30.9.08 durchgeführt, insgesamt konnten die Datensätze von 15 Messtagen berücksichtigt werden.

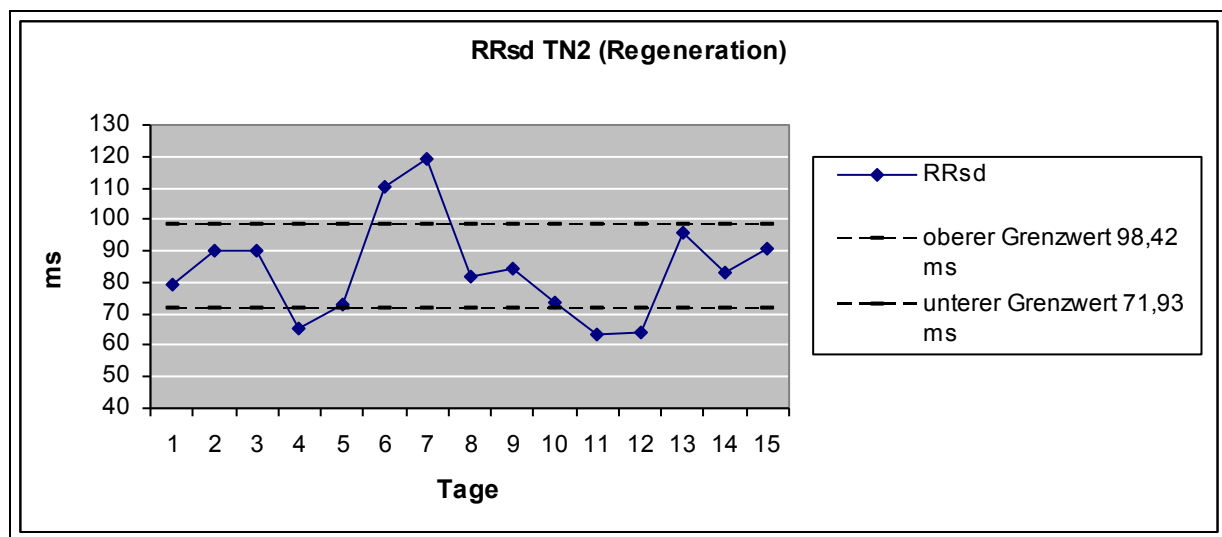


Abb. 107: Verlauf des RRsd während der Regenerationsphase bei TN2

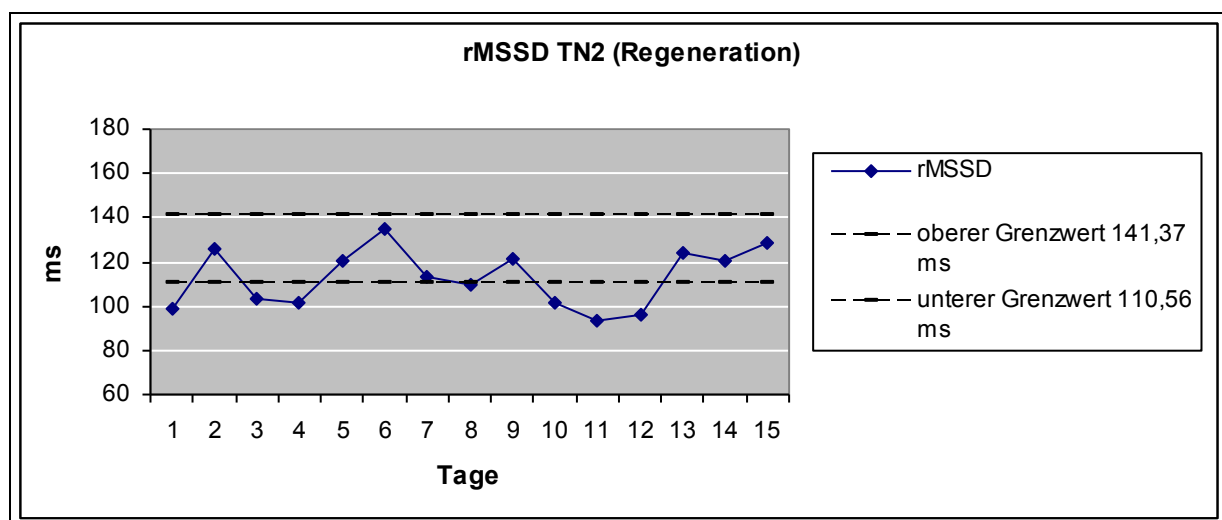


Abb. 108: Verlauf des rMSSD während der Regenerationsphase bei TN2

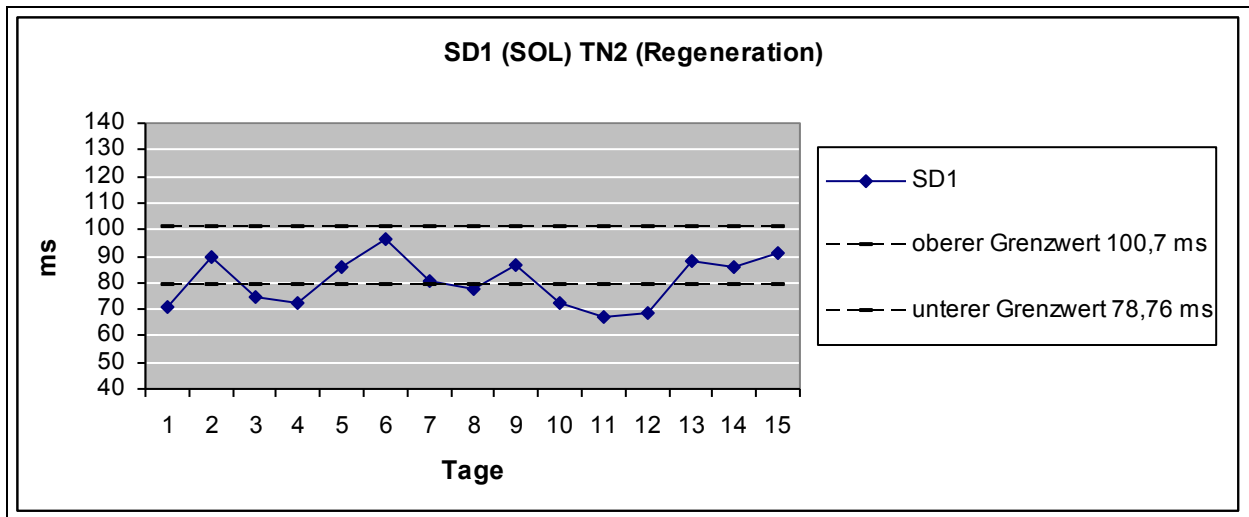


Abb. 109: Verlauf des SD1 während der Regenerationsphase bei TN2

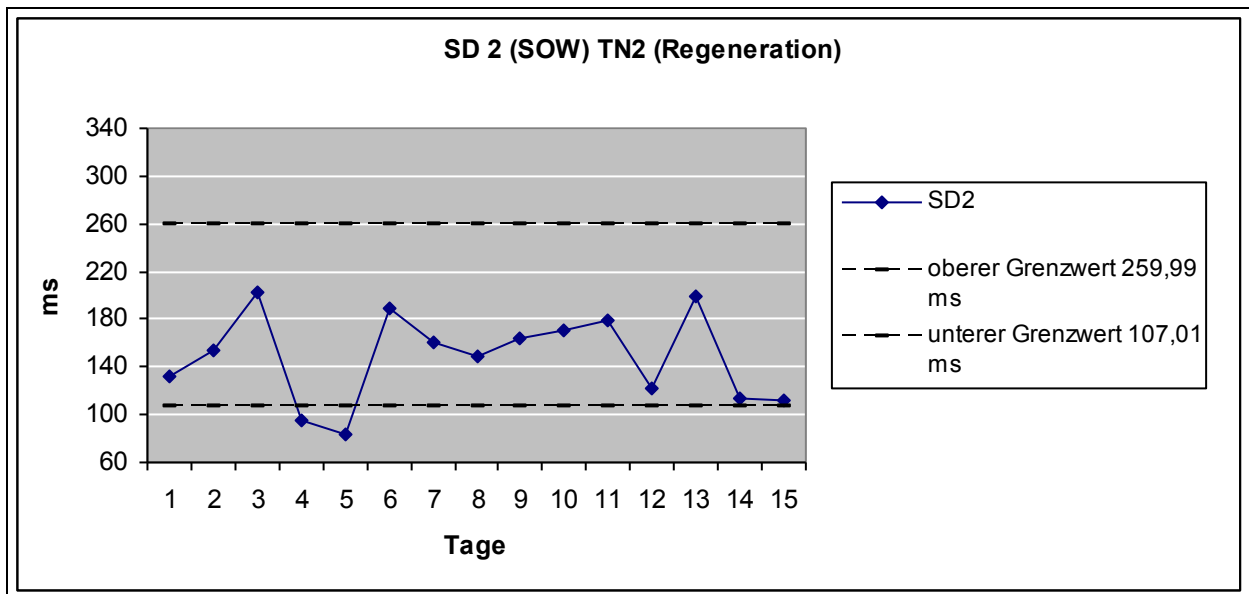


Abb. 110: Verlauf des SD2 während der Regenerationsphase bei TN2

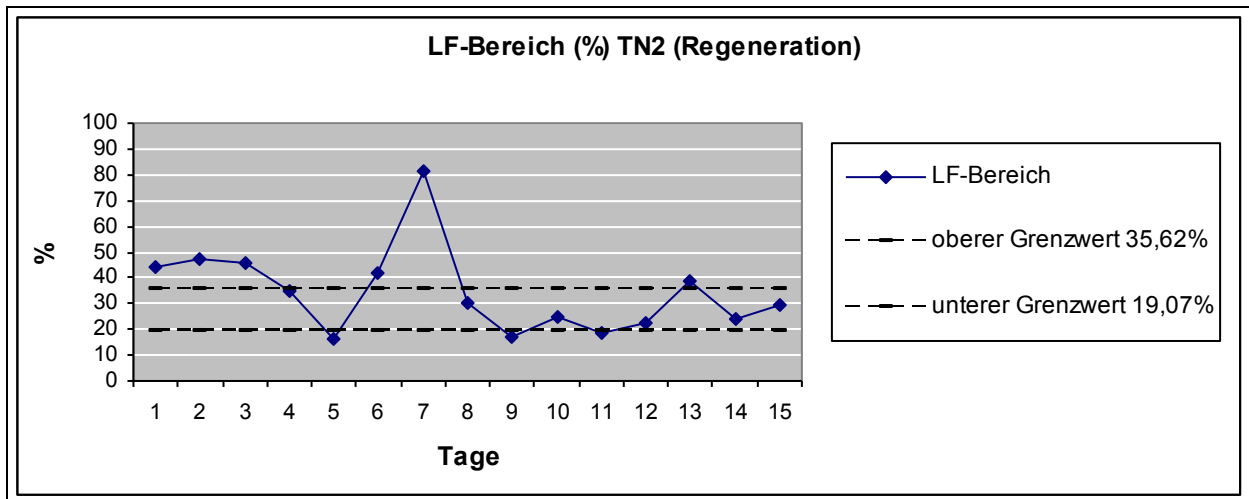


Abb. 111: Verlauf der Werte des LF-Bereichs (%) während der Regenerationsphase bei TN2

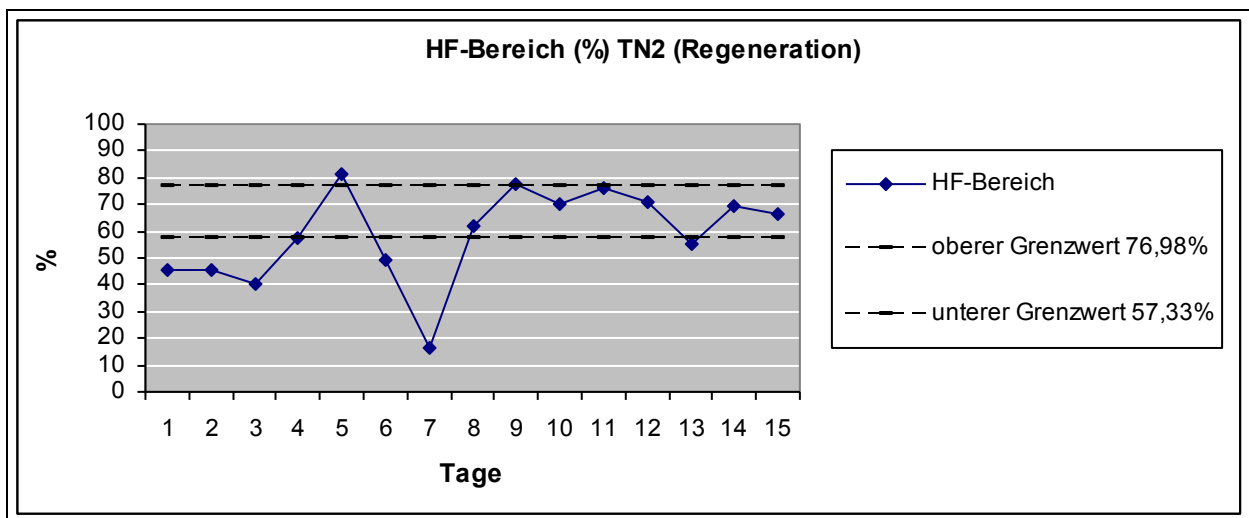


Abb. 112: Verlauf der Werte des HF-Bereichs (%) während der Regenerationsphase bei TN2

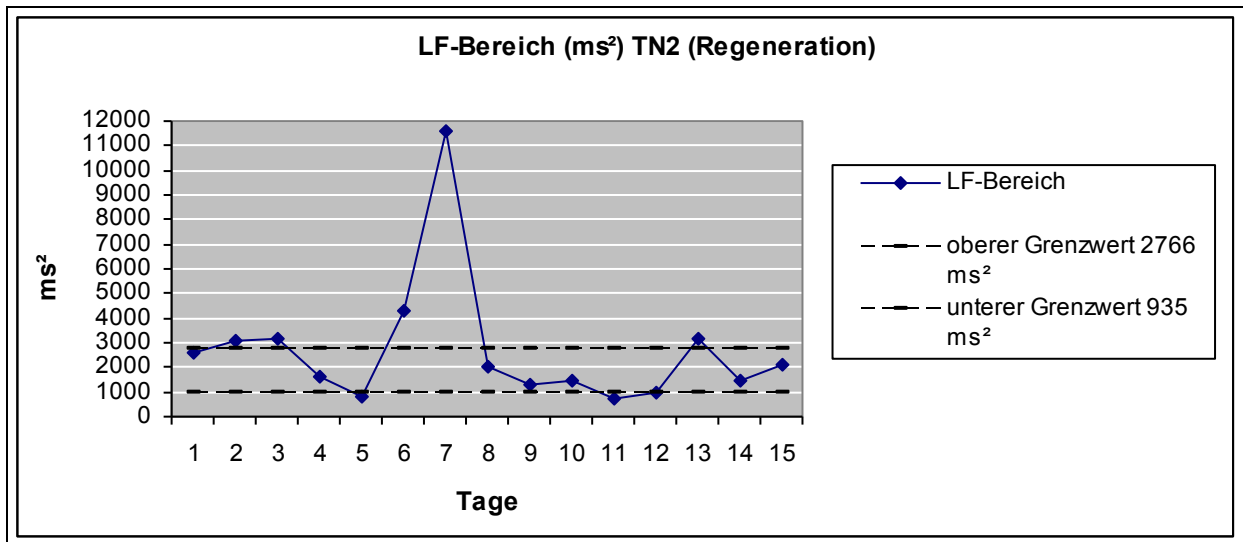


Abb. 113: Verlauf der Werte des LF-Bereichs ( $\text{ms}^2$ ) während der Regenerationsphase bei TN2

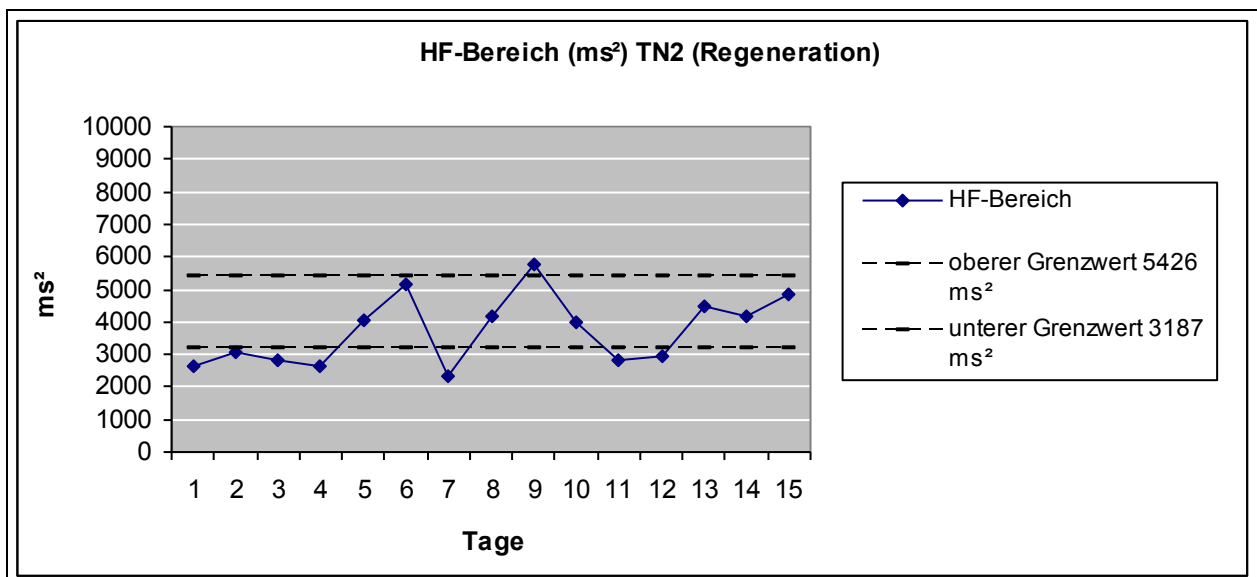


Abb. 114: Verlauf der Werte des HF-Bereichs ( $\text{ms}^2$ ) während der Regenerationsphase bei TN2

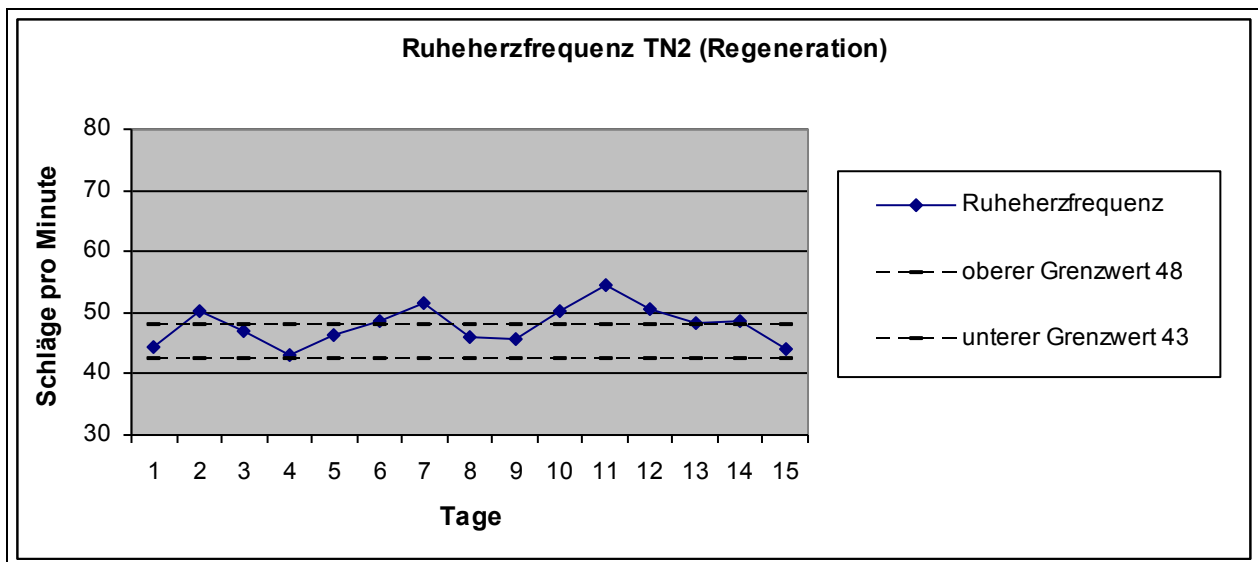


Abb. 115: Verlauf der Ruheherzfrequenz während der Regenerationsphase bei TN2

Tab. 42: Zusammenfassung der kardiologischen Messparameter während der Regenerationsphase bei TN2.

	Mittelwert	Standardabweichung	oberer Grenzwert	unterer Grenzwert	Maßeinheit
RRsd	84,30	16,09	98,42	71,93	ms
rMSSD	112,85	13,11	141,37	110,56	ms
SD1	80,39	9,32	100,70	78,76	ms
SD2	148,53	37,32	259,99	107,01	ms
HF (%)	58,85	17,28	76,98	57,33	%
LF (%)	34,42	16,68	35,62	19,07	%
HF (ms <sup>2</sup> )	3725,06	1052,63	5425,88	3186,62	ms <sup>2</sup>
LF (ms <sup>2</sup> )	2687,26	2675,37	2765,89	934,66	ms <sup>2</sup>
Ruheherzfrequenz	47,97	3,18	48,10	42,52	Schläge/Min.

Insgesamt zeigen sich bei TN2 für die Parameter der Herzfrequenzvariabilität und die Ruheherzfrequenz keine auffälligen Unterschiede im Vergleich zur Normwertbestimmung. Die Spektralleistung im HF-Frequenzband bewegt sich ebenso wie die Zeitbereichsparameter rMSSD, SD1 und SD2 auf gleichbleibendem Niveau, wenngleich leicht erniedrigte Werte nachgewiesen werden konnten. Die Spektralleistung im LF-Frequenzband zeigt einen leicht erhöhten Wert an, die Ruheherzfrequenz ist im Vergleich zur Normwertbestimmung um 3 Schläge pro Minute erhöht.

Folgende kritische Ereignisse treten bei TN2 während der Regenerationsphase auf:

- Die Werte der Parameter rMSSD und SD1 unterschreiten den Normbereich vom 10. bis 12. Regenerationstag.
- Der prozentuale HF-Anteil am Gesamtsignal unterschreitet, der prozentuale LF-Anteil am Gesamtsignal überschreitet den Normbereich vom 1. bis 3. Regenerationstag.

- Die Spektralleistung im HF-Frequenzband unterschreitet den Normbereich vom 1. bis 4. Regenerationstag.
- Die Ruheherzfrequenz überschreitet den Normbereich vom 10. bis 12. Regenerationstag.

#### 5.2.4.3 TN3

##### *Normwertbestimmung*

Die Normwertbestimmung wurde vom 9.7.08 bis 19.7.08 durchgeführt, insgesamt wurden elf Messungen für das Erstellen der Normbereiche berücksichtigt.

Die Darstellung der einzelnen Parameterverläufe und ermittelten Grenzwerte erfolgt anhand nachstehend aufgeführter Abbildungen.

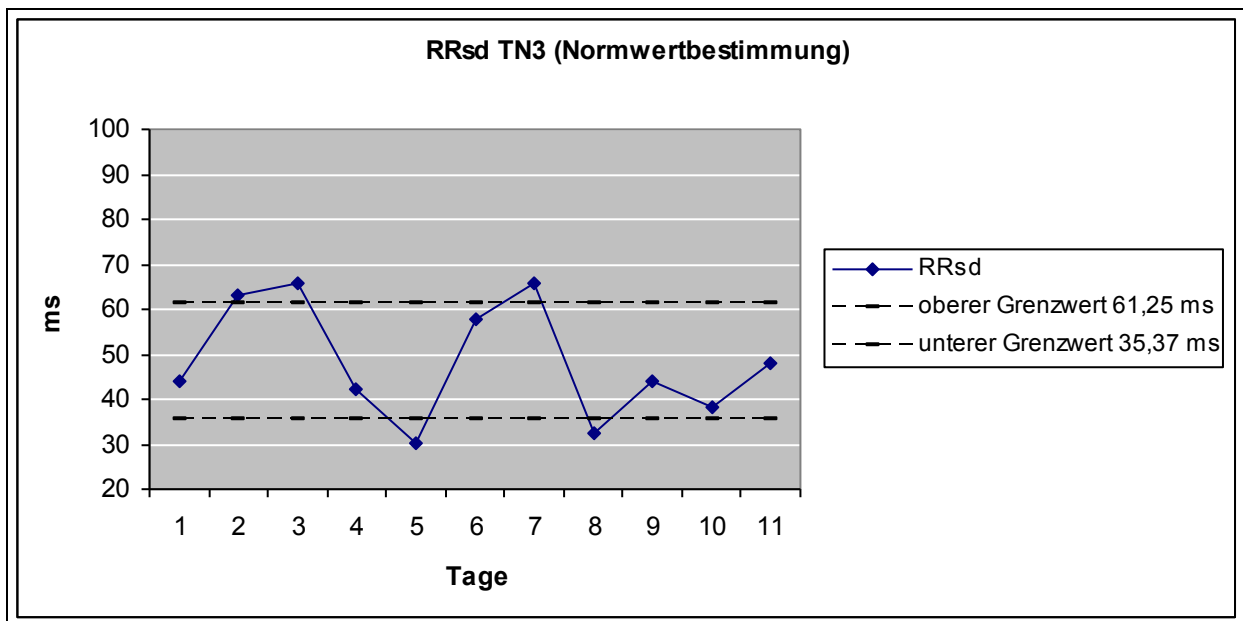


Abb. 116: Verlauf des RRsd während der Normwertbestimmung bei TN3

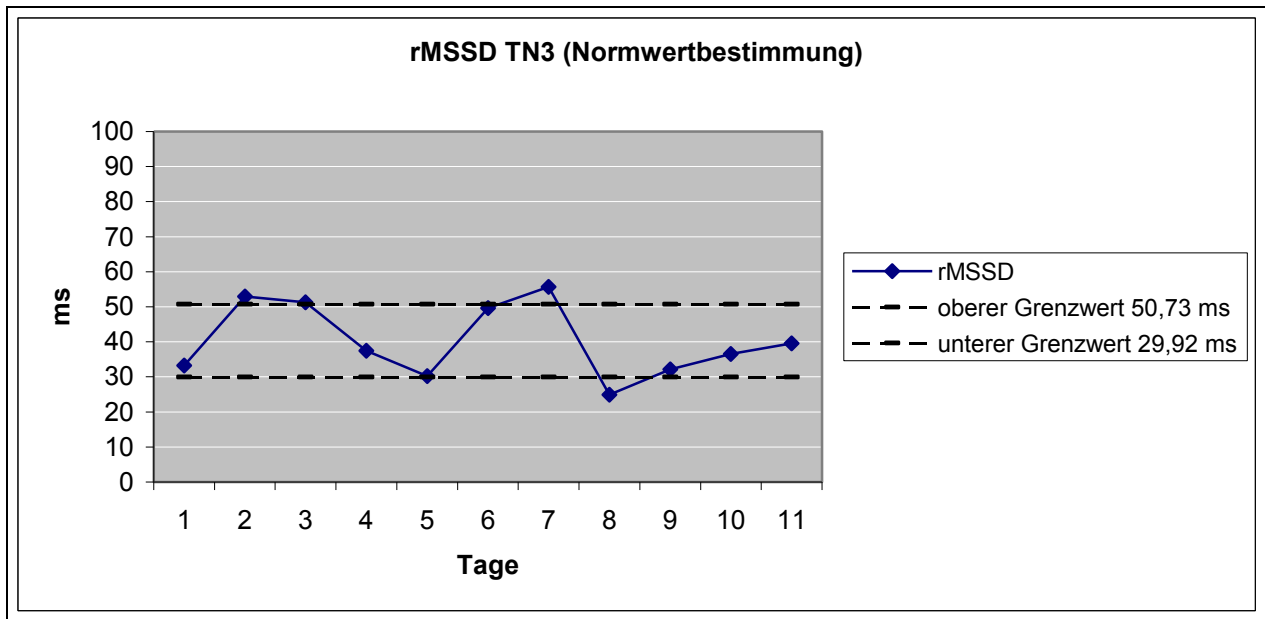


Abb. 117: Verlauf des rMSSD während der Normwertbestimmung bei TN3

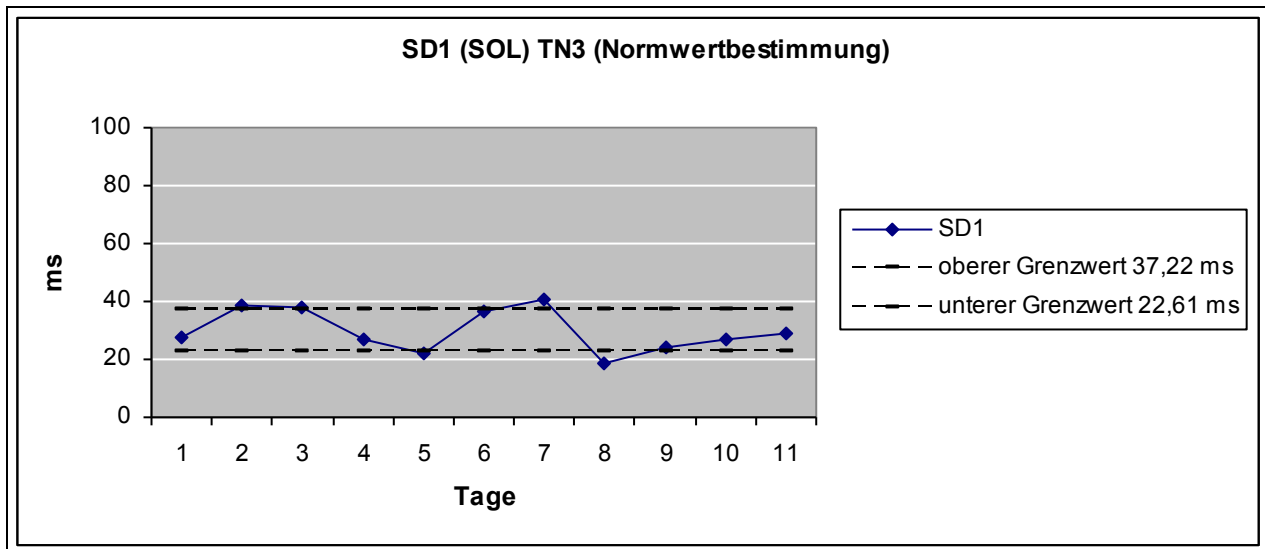


Abb. 118: Verlauf des SD1 während der Normwertbestimmung bei TN3

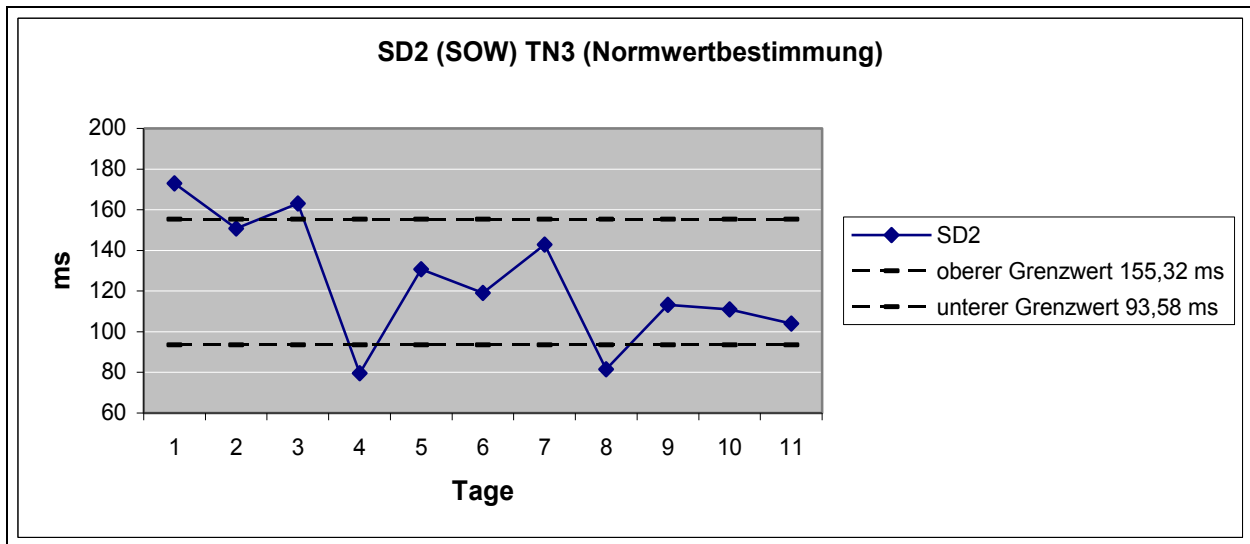


Abb. 119: Verlauf des SD2 während der Normwertbestimmung bei TN3

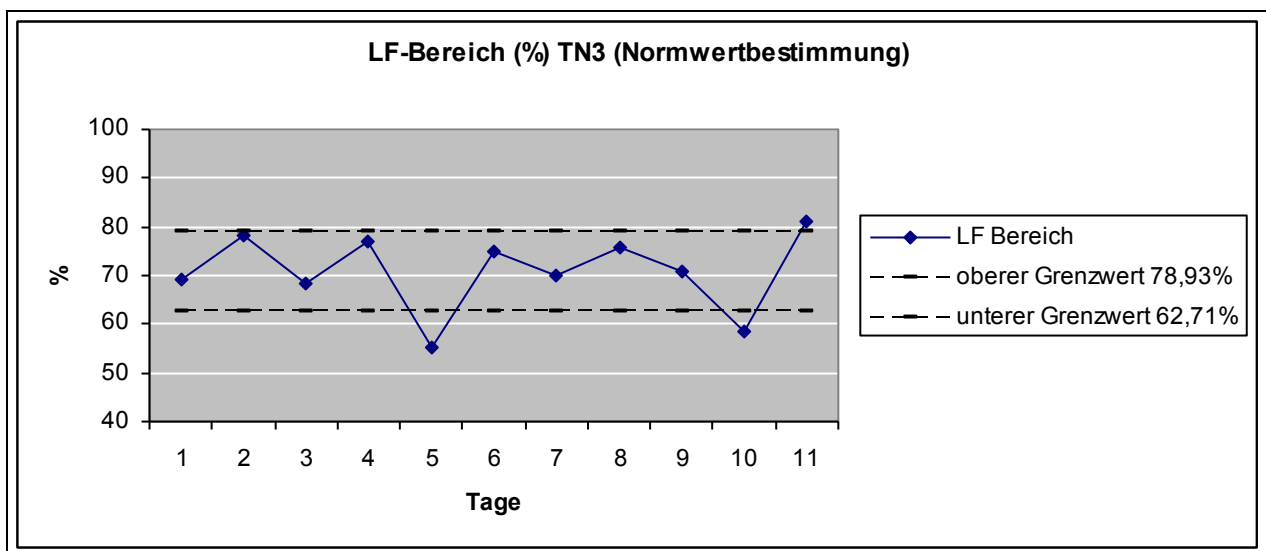


Abb. 120: Verlauf der Werte des LF-Bereichs (%) während der Normwertbestimmung bei TN3



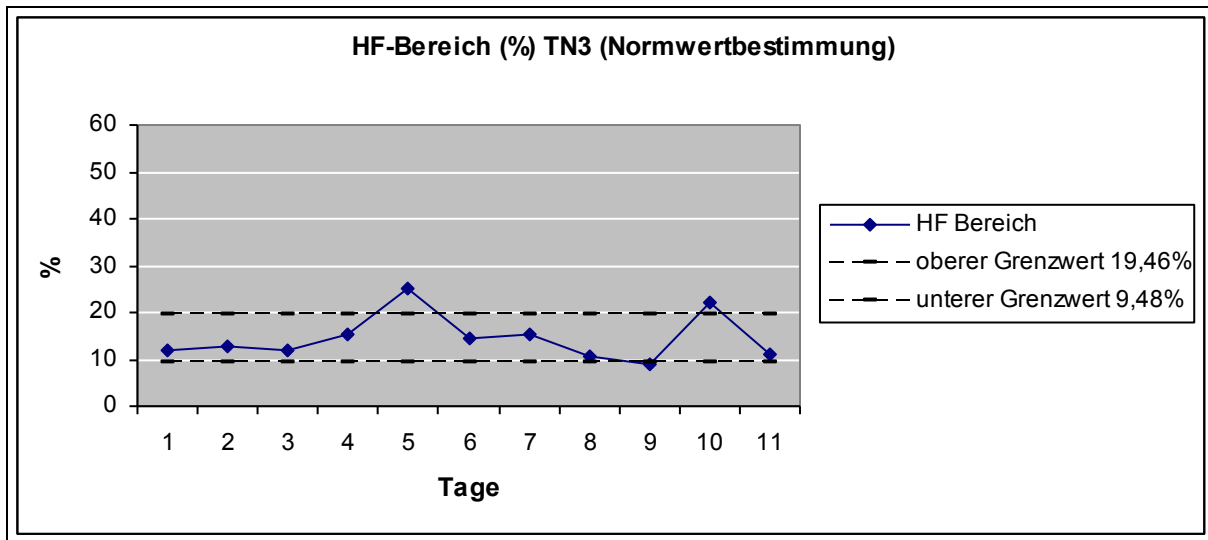


Abb. 121: Verlauf der Werte des HF-Bereichs (%) während der Normwertbestimmung bei TN3

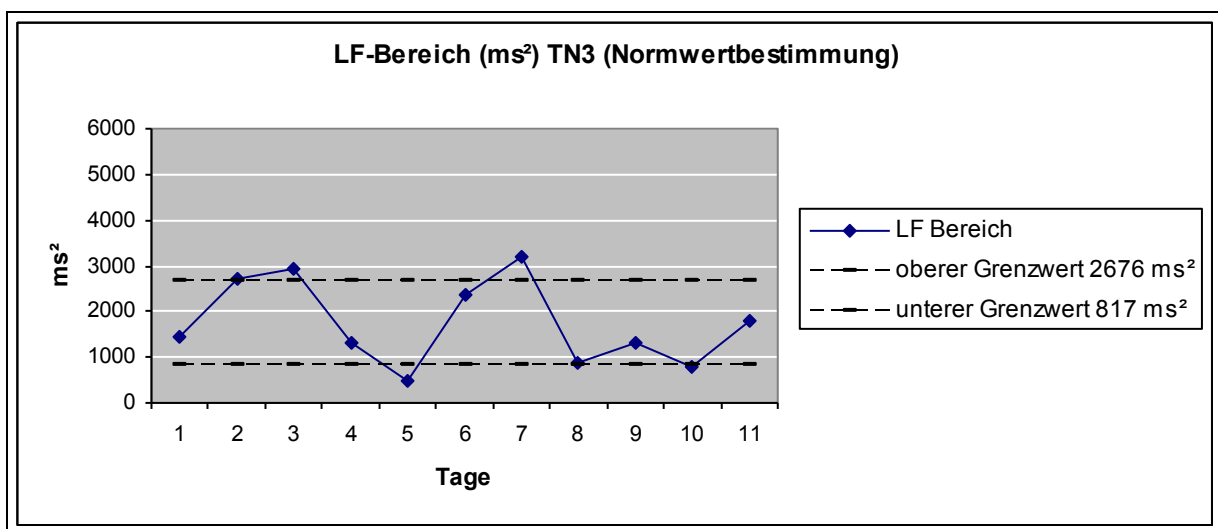


Abb. 122: Verlauf der Werte des LF-Bereichs ( $\text{ms}^2$ ) während der Normwertbestimmung bei TN3

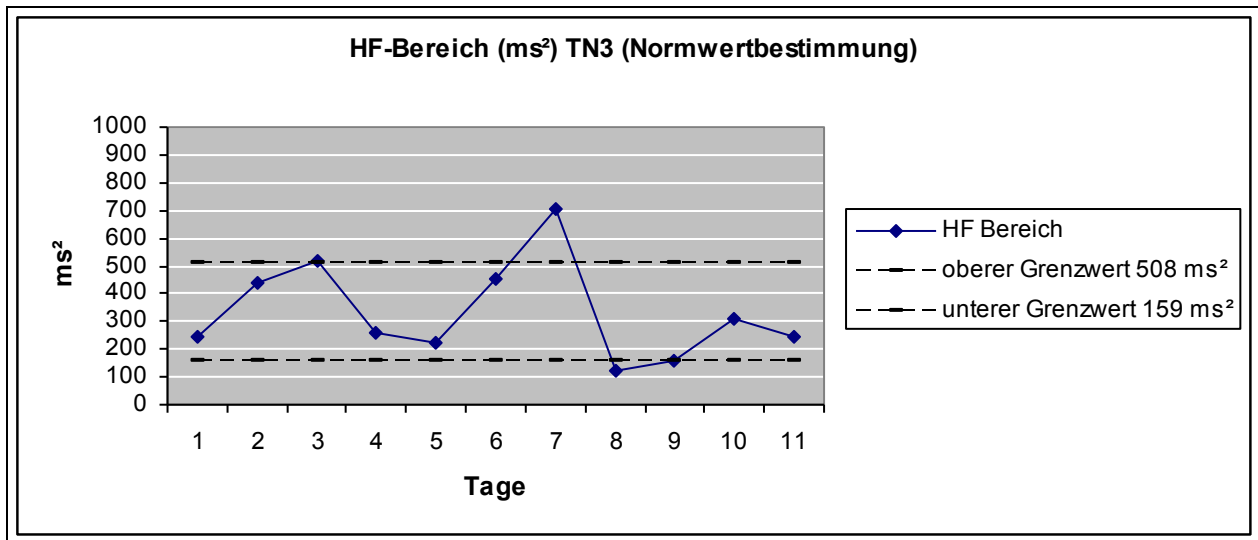


Abb. 123: Verlauf der Werte des HF-Bereichs während der Normwertbestimmung bei TN3

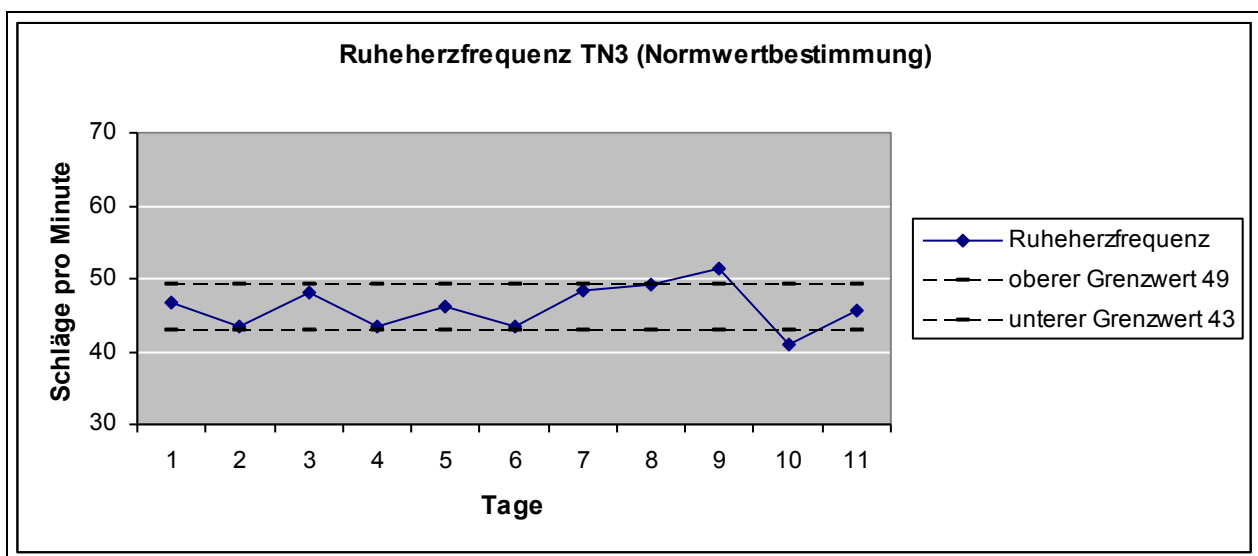


Abb. 124: Verlauf der Ruheherzfrequenz während der Normwertbestimmung bei TN3

Tab. 43: Zusammenfassung der kardiologischen Messparameter während der Normwertbestimmung bei TN3.

	Mittelwert	Standardabweichung	oberer Grenzwert	unterer Grenzwert	Maßeinheit
<b>RRsd</b>	48,31	12,94	61,25	35,37	ms
<b>rMSSD</b>	40,32	10,40	50,73	29,92	ms
<b>SD1</b>	29,92	7,30	37,22	22,61	ms
<b>SD2</b>	124,45	30,87	155,32	93,58	ms
<b>HF (%)</b>	14,47	4,99	19,46	9,48	%
<b>LF (%)</b>	70,82	8,11	78,93	62,71	%
<b>HF (ms<sup>2</sup>)</b>	333,24	174,64	507,88	158,60	ms <sup>2</sup>
<b>LF (ms<sup>2</sup>)</b>	1746,51	929,50	2676,01	817,01	ms <sup>2</sup>
<b>Ruheherzfrequenz</b>	46,05	3,08	49,13	42,97	Schläge/Min.

### Deutschlandlauf und Regeneration

Auch die Darstellung der Parameter der Herzfrequenzvariabilität und der Ruheherzfrequenz erfolgt bei TN3 bezogen auf die Wettkampf- und Regenerationsphase. Lediglich zwei Messungen wurden während der drei Wettkampftage des Deutschlandlaufs durchgeführt, die Regenerationsphase umfasst zwölf Messtage.

Die Verläufe der einzelnen Parameter sind in folgenden Abbildungen graphisch dargestellt.

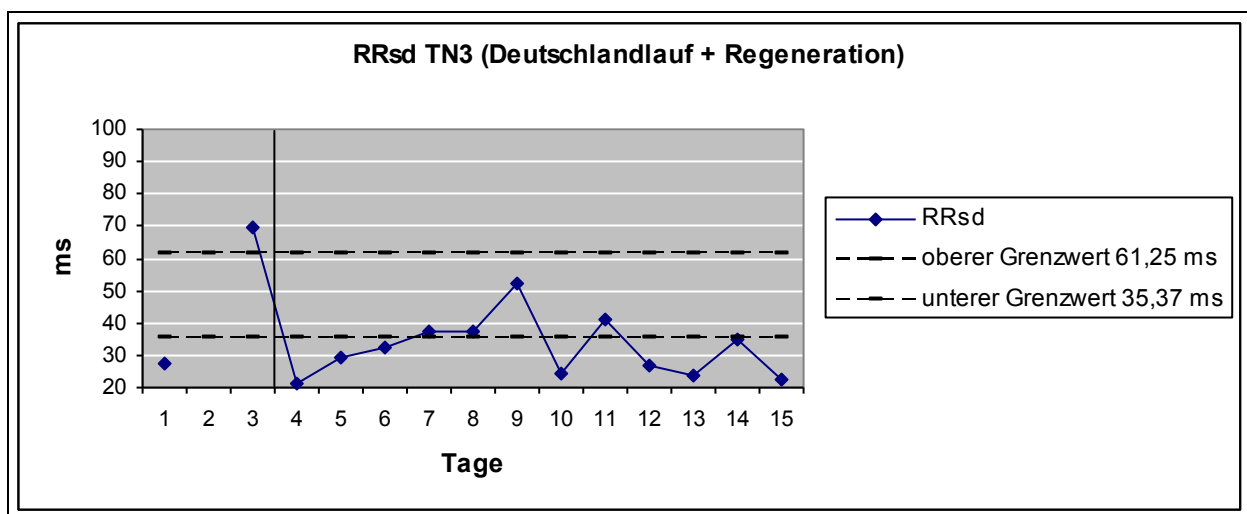


Abb. 125: Verlauf des RRsd während des DL und der Regenerationsphase bei TN3

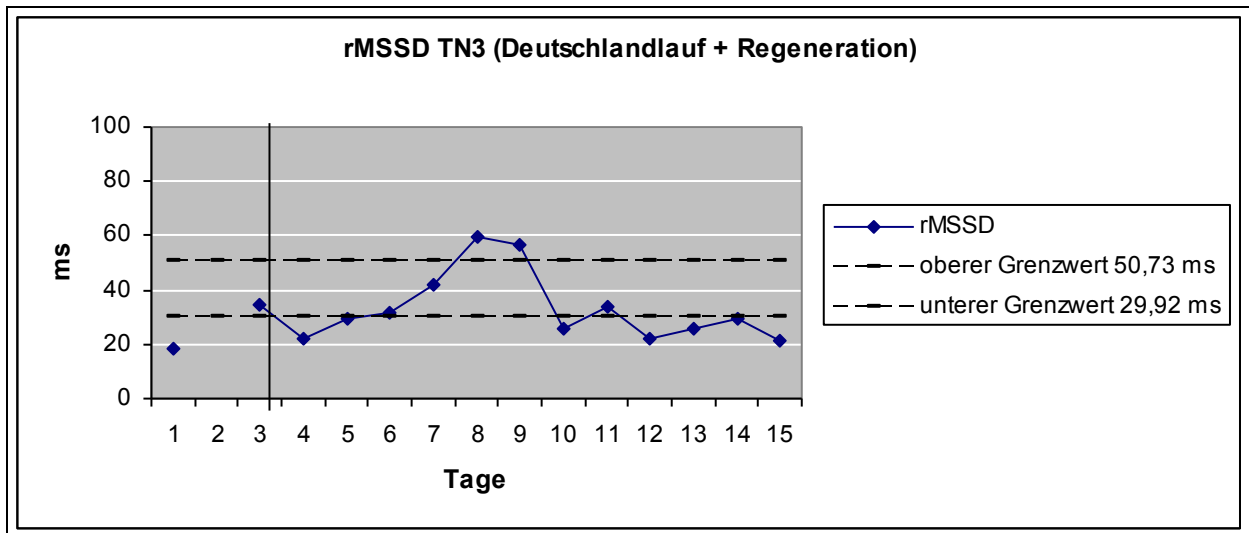


Abb. 126: Verlauf des rMSSD während des DL und der Regenerationsphase bei TN3

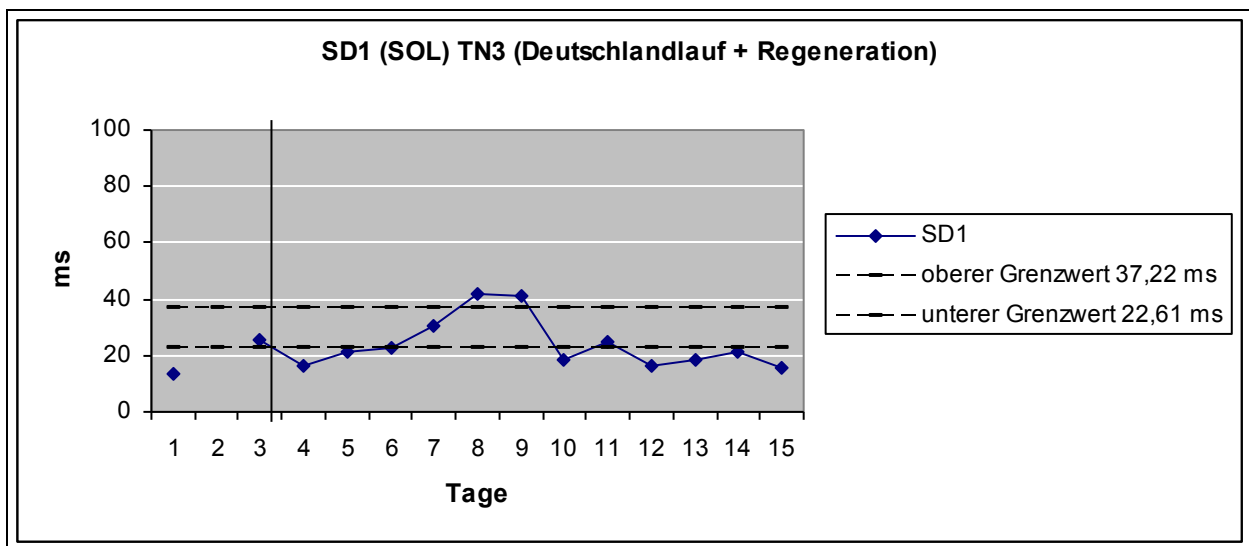


Abb. 127: Verlauf des SD1 während des DL und der Regenerationsphase bei TN3

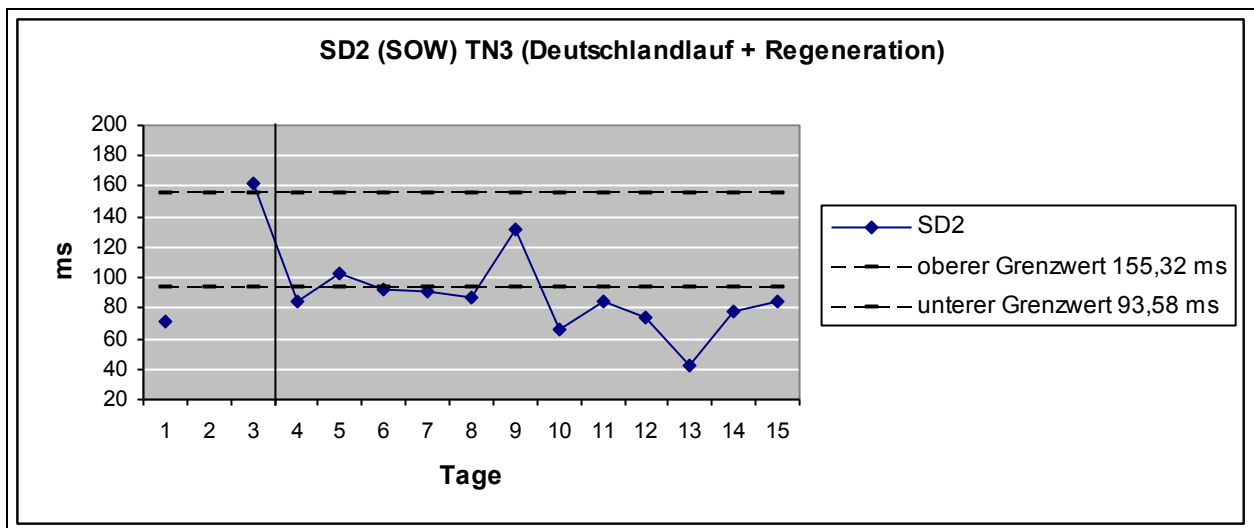


Abb. 128: Verlauf des SD2 während des DL und der Regenerationsphase bei TN3

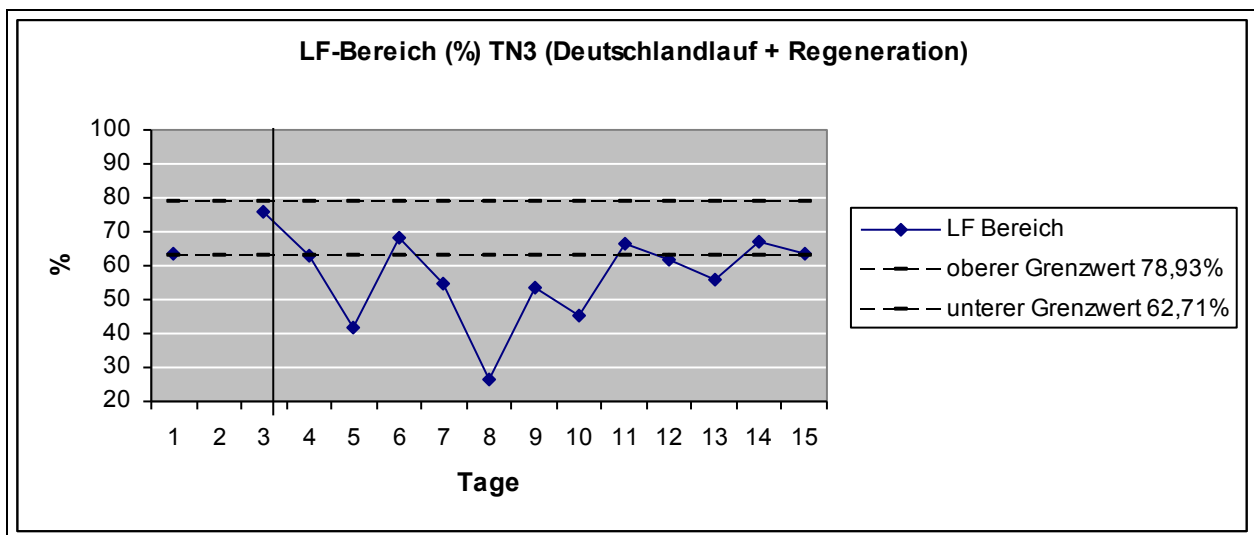


Abb. 129: Verlauf der Werte des LF-Bereichs (%) während des DL und der Regenerationsphase bei TN3

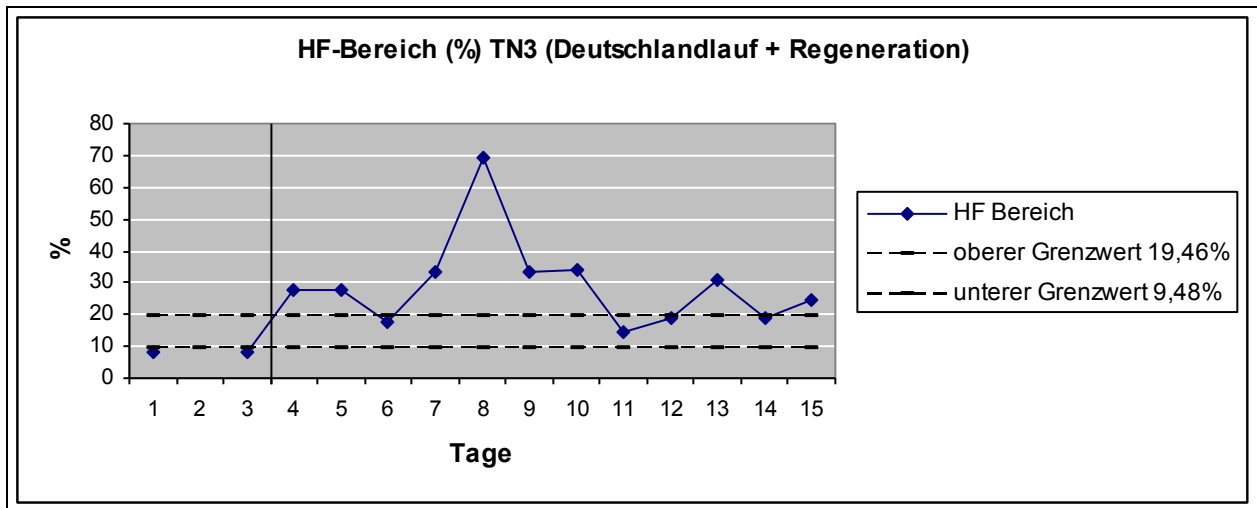


Abb. 130: Verlauf der Werte des HF-Bereichs (%) während des DL und der Regenerationsphase bei TN3

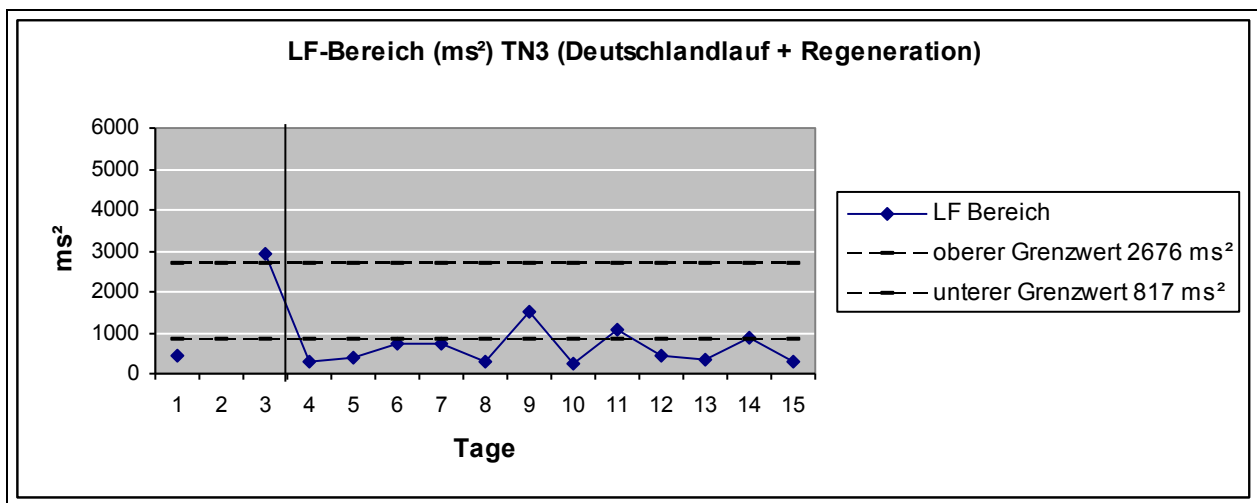


Abb. 131: Verlauf der Werte des LF-Bereichs ( $ms^2$ ) während des DL und der Regenerationsphase bei TN3

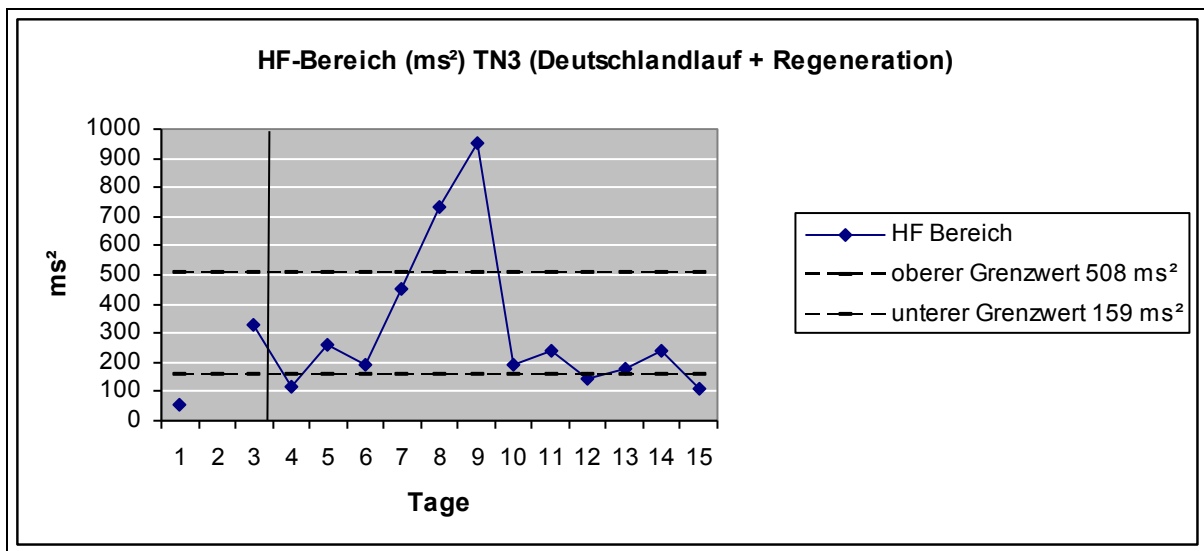


Abb. 132: Verlauf der Werte des HF-Bereichs ( $\text{ms}^2$ ) während des DL und der Regenerationsphase bei TN3

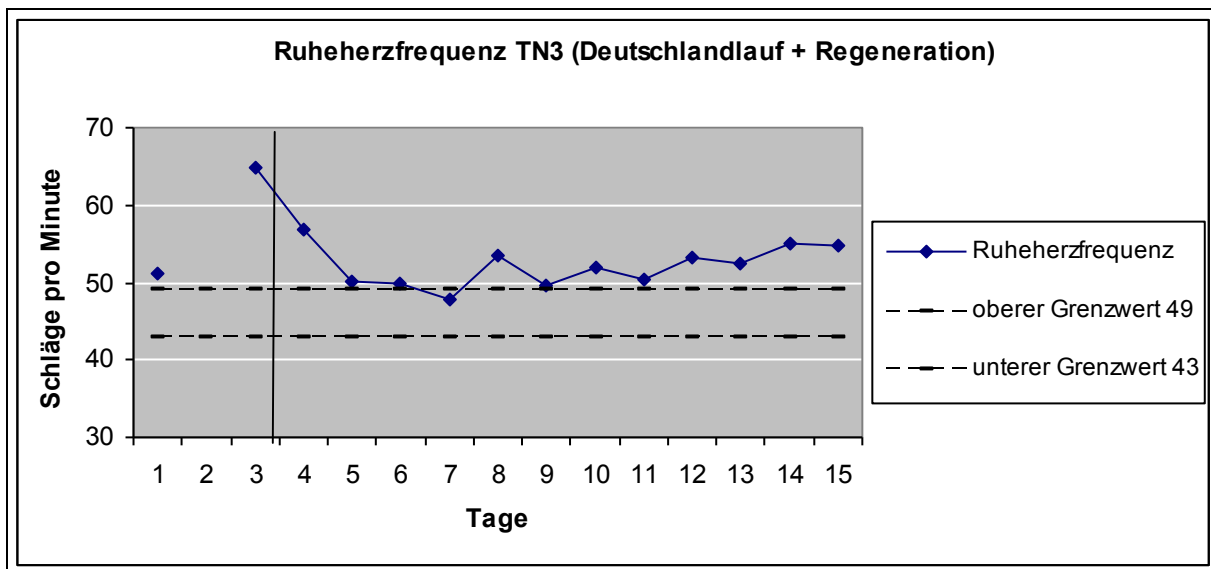


Abb. 133: Verlauf der Ruheherzfrequenz während des DL und der Regenerationsphase bei TN3

*Tab. 44: Zusammenfassung der kardiologischen Messparameter während des Deutschlandlaufs und der Regenerationsphase bei TN3.*

	Mittelwert	Standardabweichung	oberer Grenzwert	unterer Grenzwert	Maßeinheit
<b>RRsd</b>	34,32	13,31	61,25	35,37	ms
<b>rMSSD</b>	32,24	12,59	50,73	29,92	ms
<b>SD1</b>	23,38	8,90	37,22	22,61	ms
<b>SD2</b>	89,38	28,89	155,32	93,58	ms
<b>HF (%)</b>	26,31	15,20	19,46	9,48	%
<b>LF (%)</b>	57,63	12,79	78,93	62,71	%
<b>HF (ms<sup>2</sup>)</b>	299,44	254,24	507,88	158,60	ms <sup>2</sup>
<b>LF (ms<sup>2</sup>)</b>	754,04	728,53	2676,01	817,01	ms <sup>2</sup>
<b>Ruheherzfrequenz</b>	52,99	4,20	49,13	42,97	Schläge/Min.

Die Ruheherzfrequenz von TN3 beträgt für die Dauer der gesamten Wettkampf- und Regenerationsphase 53 Schläge pro Minute und ist somit im Vergleich zur Phase der Normwertbestimmung um 7 Schläge pro Minute erhöht. Die Zeitbereichsparameter RRsd, rMSSD, SD1, SD2 sowie die Spektralleistung im HF- und im LF-Frequenzband zeigen im Mittel allesamt niedrigere Werte als während Phase 1 an.

Zu Beginn der Regenerationsphase (1. bis 4. Tag) zeigen sich niedrige Werte aller Zeitbereichsparameter (RRsd, rMSSD, SD1 und SD2) sowie eine geringe Spektralleistung im LF- und HF-Bereich. Am fünften und sechsten Regenerationstag ist vor allem die hohe Spektralleistung im HF-Frequenzband auffällig, gleichzeitig zeigen die vagal modulierten Parameter rMSSD und SD1 Werte oberhalb des Normbereichs an. Gegen Ende der Messphase kommt es wiederum zu mehrtägigen Unterschreitungen der Normwertbereiche durch die Parameter RRsd, rMSSD, SD1 und SD2, auch die Spektralleistung befindet sich sowohl im LF- als auch im HF-Frequenzband auf niedrigem Niveau.

In Bezug auf die Parameter der Herzfrequenzvariabilität sowie die Ruheherzfrequenz treten während des Deutschlandlaufs sowie der anschließenden Regenerationsphase bei TN3 folgende kritische Ereignisse auf:

- Die Werte des Parameters RRsd liegen vom 4. bis 6. Messzeitpunkt, also vom 1. bis 3. Regenerationstag sowie vom 12. bis 15. Messzeitpunkt (9. bis 12. Regenerationstag) unterhalb des Normbereichs.
- Die Werte der Parameter rMSSD sowie SD1 liegen vom 12. bis 15. Messzeitpunkt (9. bis 12. Regenerationstag) unterhalb des Normbereichs.
- Die Werte des Parameters SD2 liegen vom 6. bis 8. sowie 10. bis 15. Messzeitpunkt (3. bis 5. Regenerationstag sowie 7. bis 12. Regenerationstag) unterhalb des Normbereichs.
- Der prozentuale LF-Anteil am Gesamtspektrum liegt vom 7. bis 10. Messzeitpunkt (4. bis 7. Regenerationstag) unterhalb, der prozentuale HF-Anteil am Gesamtspektrum vom 7. bis 10. Messzeitpunkt (4. bis 7. Regenerationstag) oberhalb des Normbereichs.



- Die Spektralleistung im LF-Frequenzband liegt vom 4. bis 8. Messzeitpunkt (1. bis 5. Regenerationstag) unterhalb des Normbereichs.
- Die Ruheherzfrequenz überschreitet den vordefinierten Normbereich vom 3. bis 6. Messzeitpunkt (letzter Wettkampftag bis 3. Regenerationstag) und vom 8. bis 15. Messzeitpunkt (5. bis 12. Regenerationstag).

#### 5.2.4.4 TN4

##### *Normwertbestimmung*

Die Ermittlung der Werte für die Parameter der Herzfrequenzvariabilität sowie der Ruheherzfrequenzwerte erfolgte vom 26.8.08 bis 7.9.08.

Insgesamt konnten alle 13 Messungen für die Erstellung der Normwertbereiche berücksichtigt werden. Die Darstellung der einzelnen Parameterverläufe und ermittelten Grenzwerte erfolgt anhand nachstehender Abbildungen.

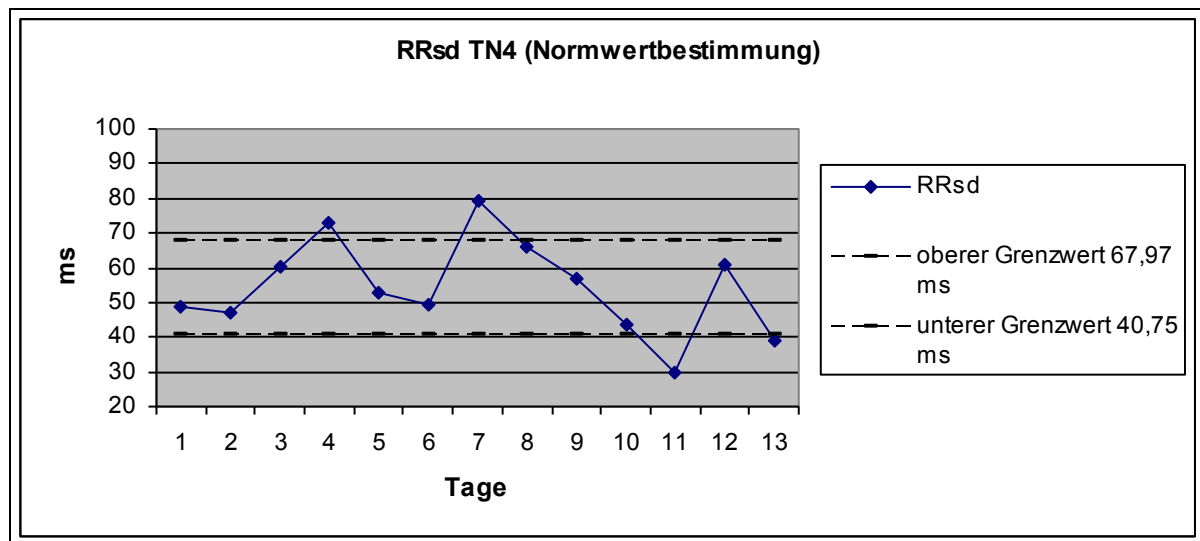


Abb. 134: Verlauf des RRsd während der Normwertbestimmung bei TN4

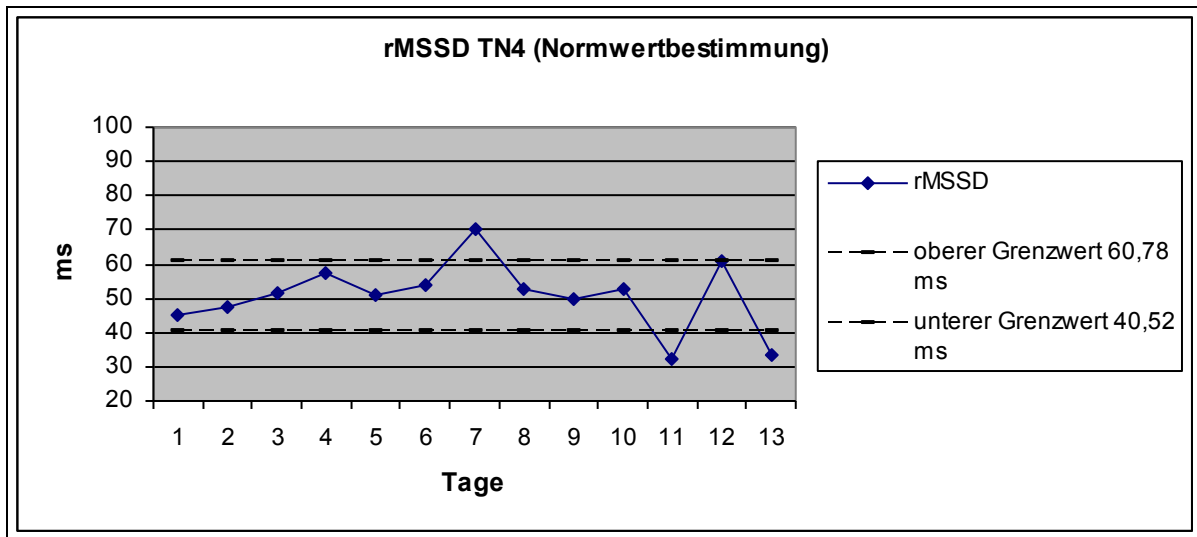


Abb. 135: Verlauf des rMSSD während der Normwertbestimmung bei TN4

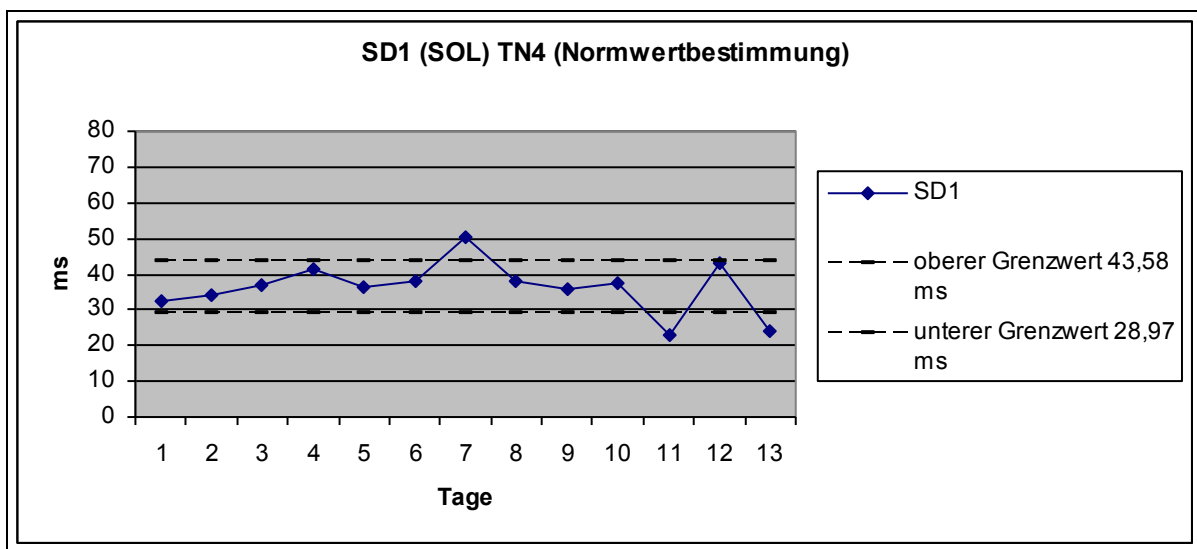


Abb. 136: Verlauf des SD1 während der Normwertbestimmung bei TN4

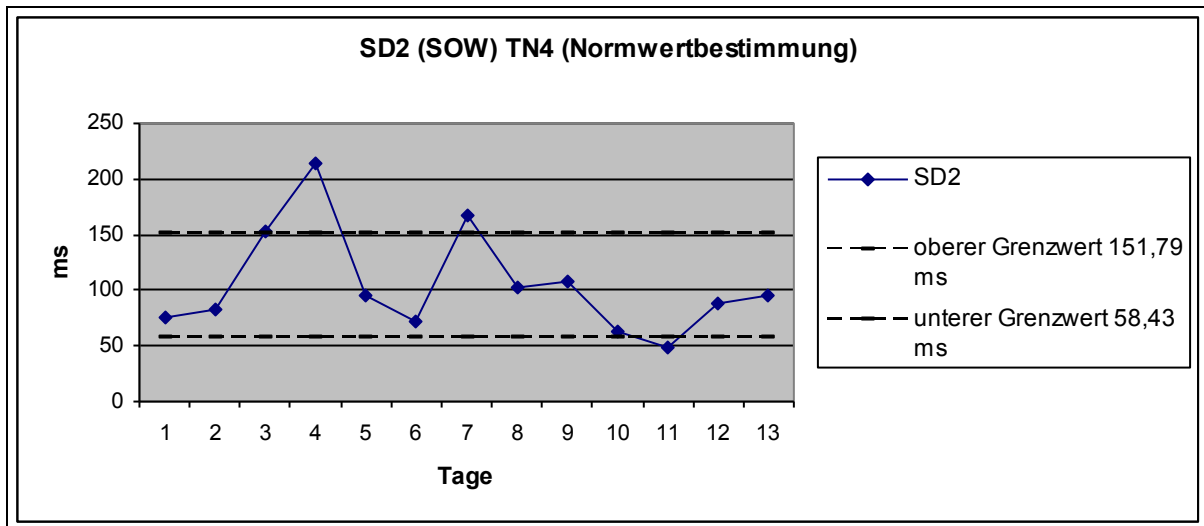


Abb. 137: Verlauf des SD2 während der Normwertbestimmung bei TN4

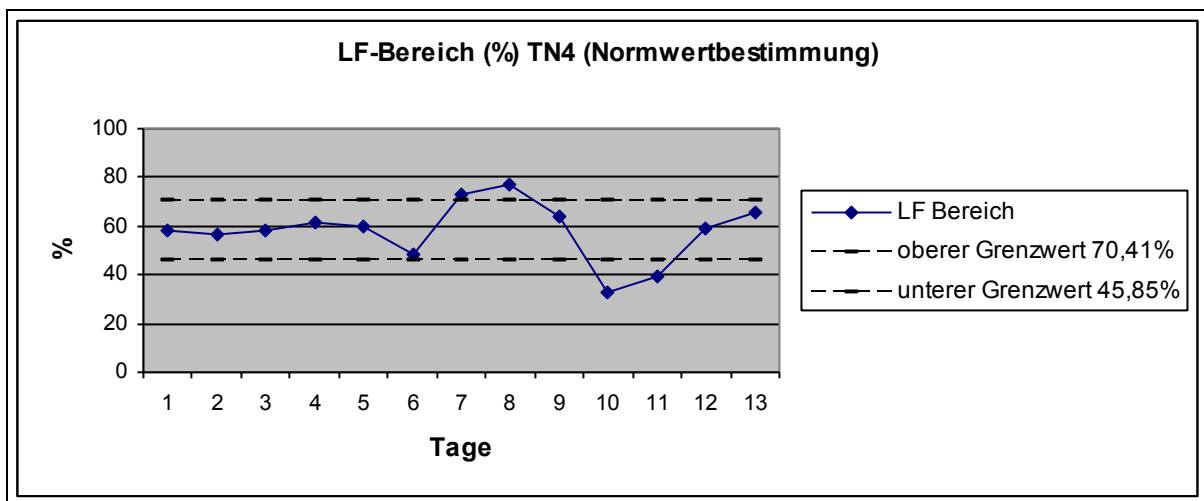


Abb. 138: Verlauf der Werte des LF-Bereichs (%) während der Normwertbestimmung bei TN4

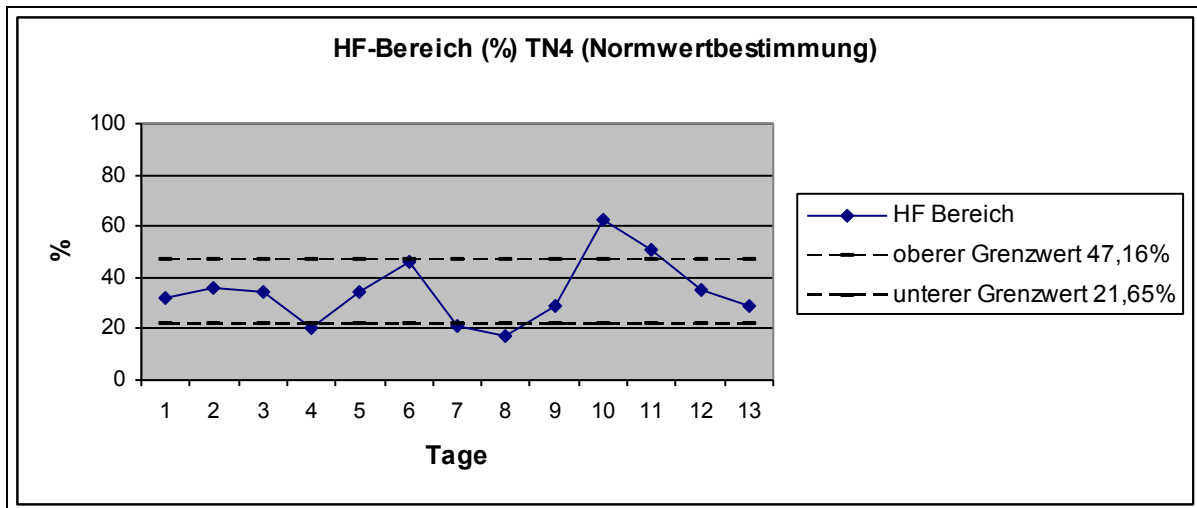


Abb. 139: Verlauf der Werte des HF-Bereichs (%) während der Normwertbestimmung bei TN4

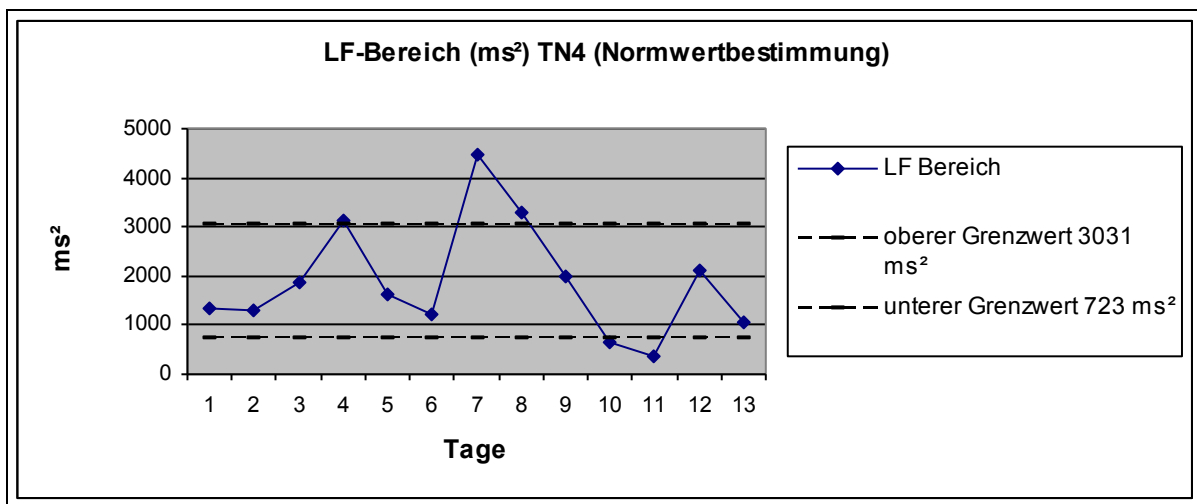


Abb. 140: Verlauf der Werte des LF-Bereichs ( $\text{ms}^2$ ) während der Normwertbestimmung bei TN4

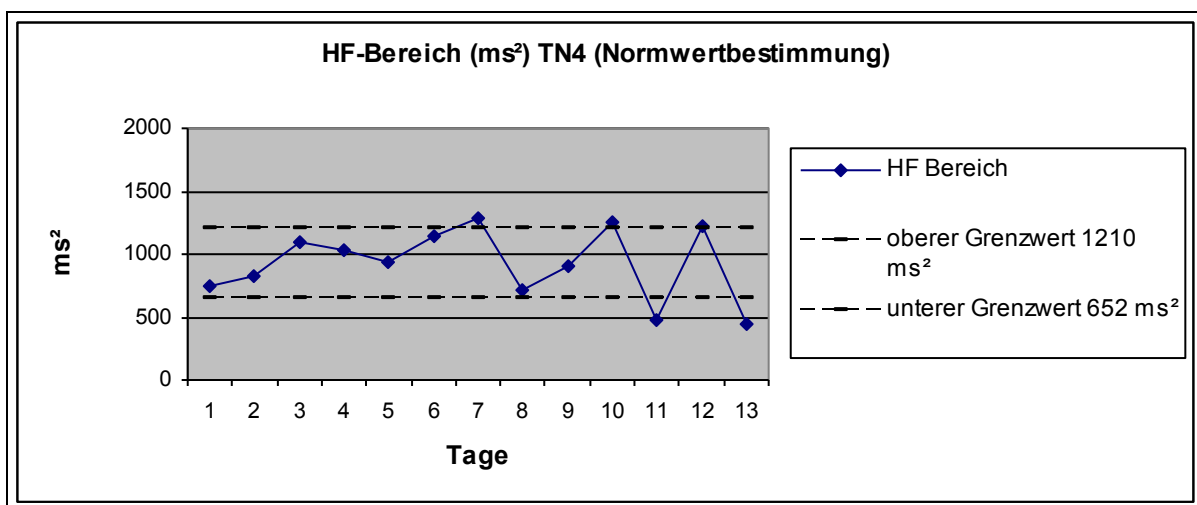


Abb. 141: Verlauf der Werte des HF-Bereichs ( $\text{ms}^2$ ) während der Normwertbestimmung bei TN4

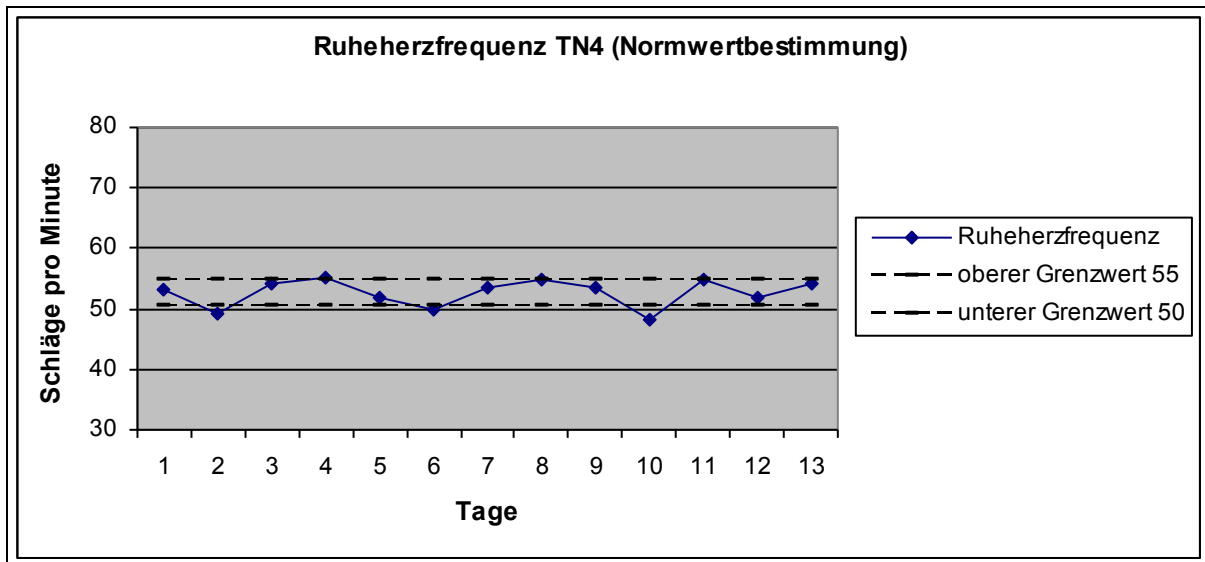


Abb. 142: Verlauf der Ruheherzfrequenz während der Normwertbestimmung bei TN4

Tab. 45: Zusammenfassung der kardiologischen Messparameter während der Normwertbestimmung bei TN4.

	Mittelwert	Standardabweichung	oberer Grenzwert	unterer Grenzwert	Maßeinheit
RRsd	54,36	13,61	67,97	40,75	ms
rMSSD	50,65	10,13	60,78	40,52	ms
SD1	36,27	7,30	28,97	43,57	ms
SD2	105,11	46,68	151,79	58,43	ms
HF (%)	34,41	12,76	47,16	21,65	%
LF (%)	58,13	12,28	70,41	45,85	%
HF (ms <sup>2</sup> )	931,08	279,08	1210,16	652,00	ms <sup>2</sup>
LF (ms <sup>2</sup> )	1876,79	1153,92	3030,71	722,87	ms <sup>2</sup>
Ruheherzfrequenz	52,66	2,26	54,92	50,40	Schläge/Min.

*Deutschlandlauf*

Die Messungen der Herzfrequenzvariabilität und Ruheherzfrequenz wurden täglich vom 8.9.08 bis 15.9.08 durchgeführt. Die Messungen vom 9.9.08 und 12.9.08 waren fehlerhaft und konnten nicht berücksichtigt werden, sodass insgesamt sechs Messtage für die Auswertung genutzt werden konnten.

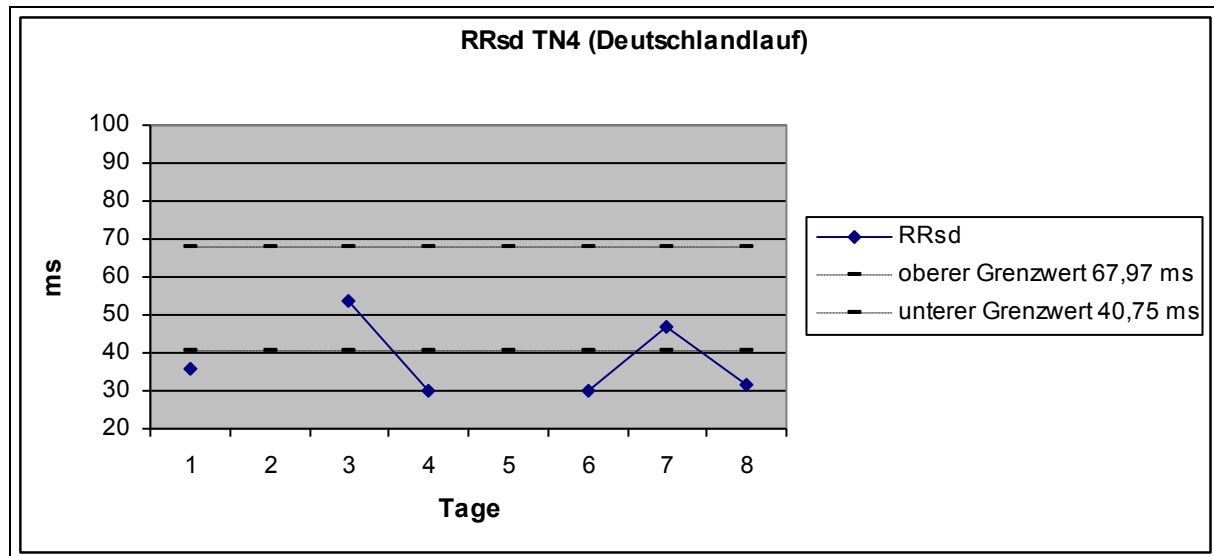


Abb. 143: Verlauf des RRsd während des Deutschlandlaufs bei TN4

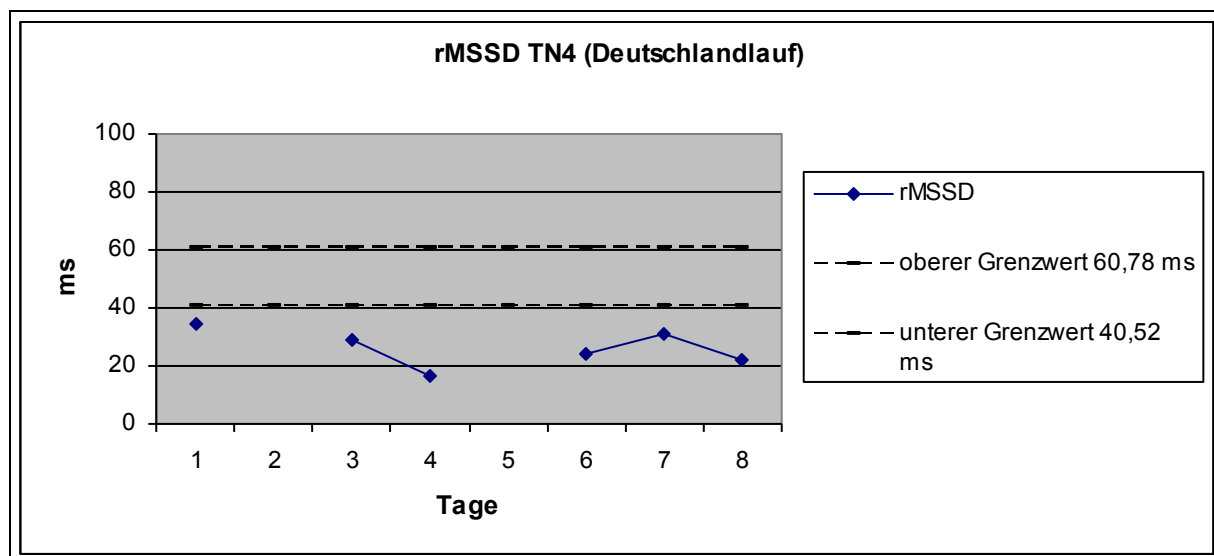


Abb. 144: Verlauf des rMSSD während des Deutschlandlaufs bei TN4

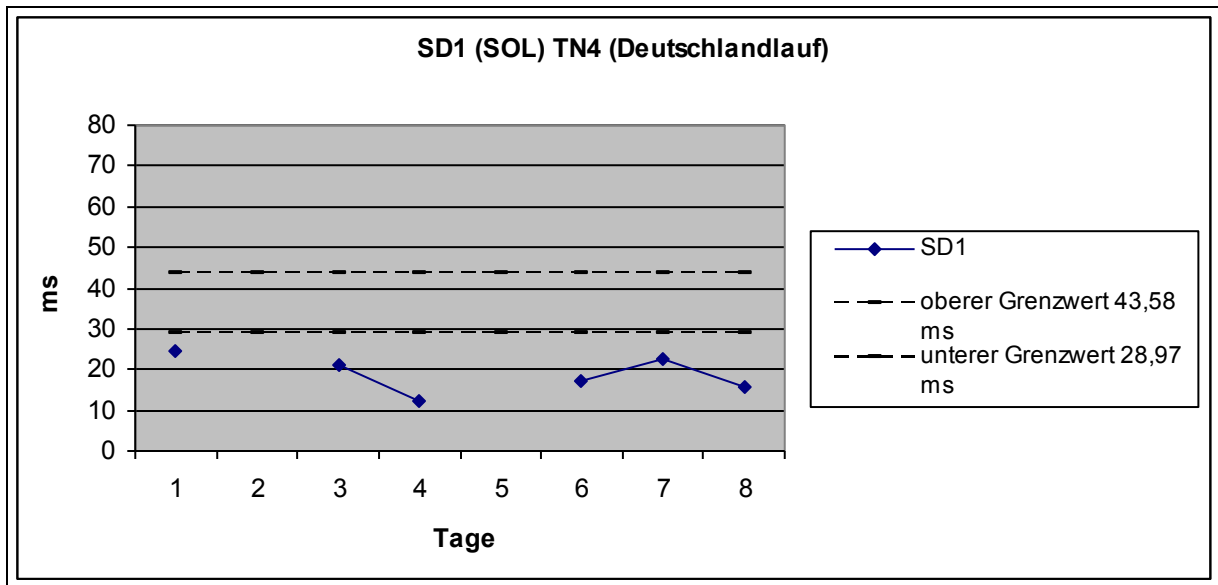


Abb. 145: Verlauf des SD1 während des Deutschlandlaufs bei TN4

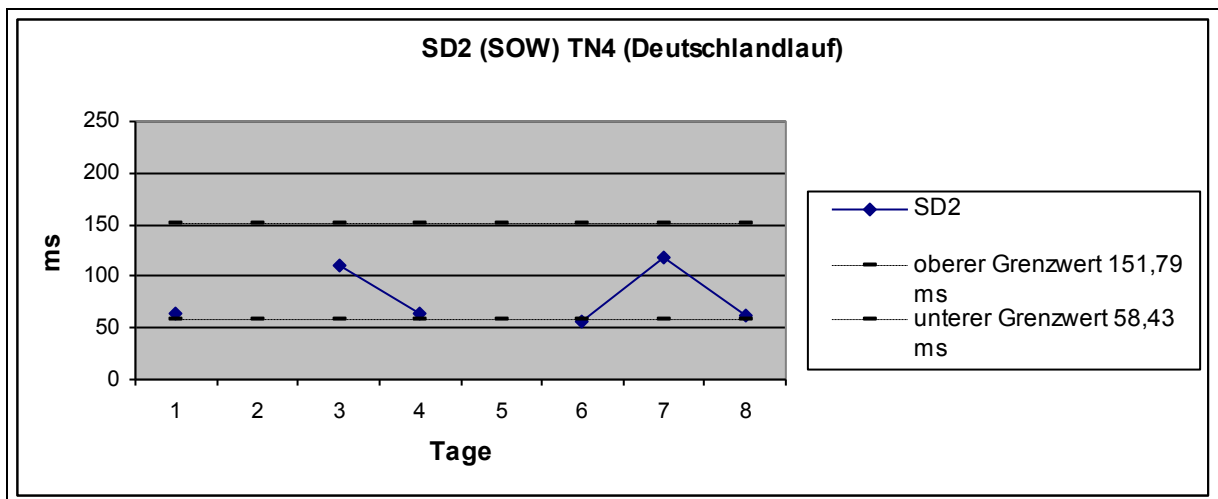


Abb. 146: Verlauf des SD2 während des Deutschlandlaufs bei TN4

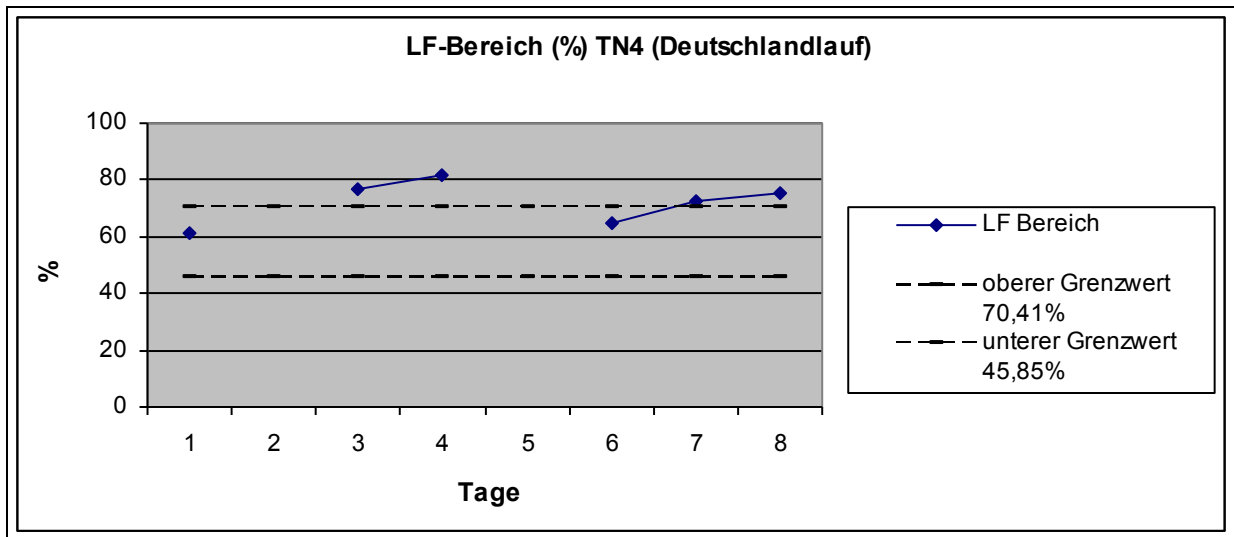


Abb. 147: Verlauf der Werte des LF-Bereichs (%) während des Deutschlandlaufs bei TN4

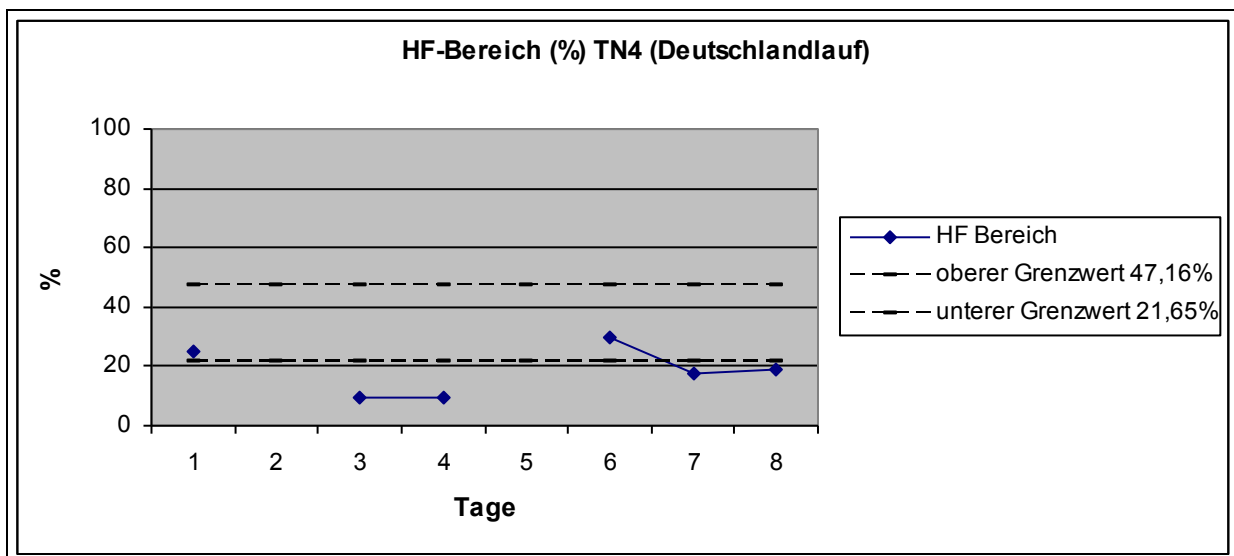


Abb. 148: Verlauf der Werte des HF-Bereichs (%) während des Deutschlandlaufs bei TN4



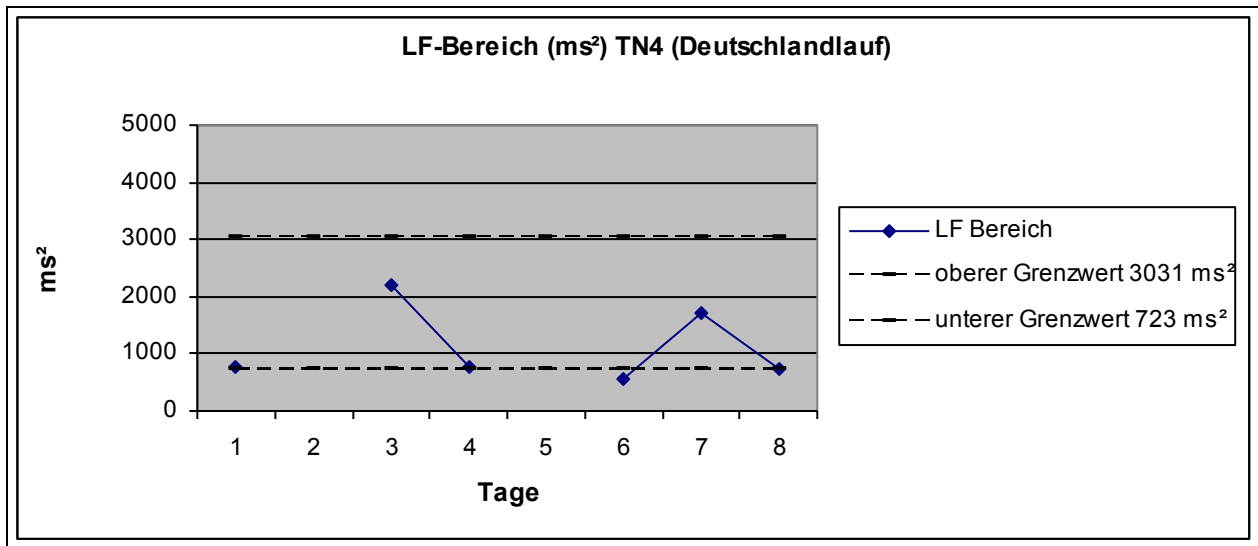


Abb. 149: Verlauf der Werte des LF-Bereichs ( $\text{ms}^2$ ) während des Deutschlandlaufs bei TN4

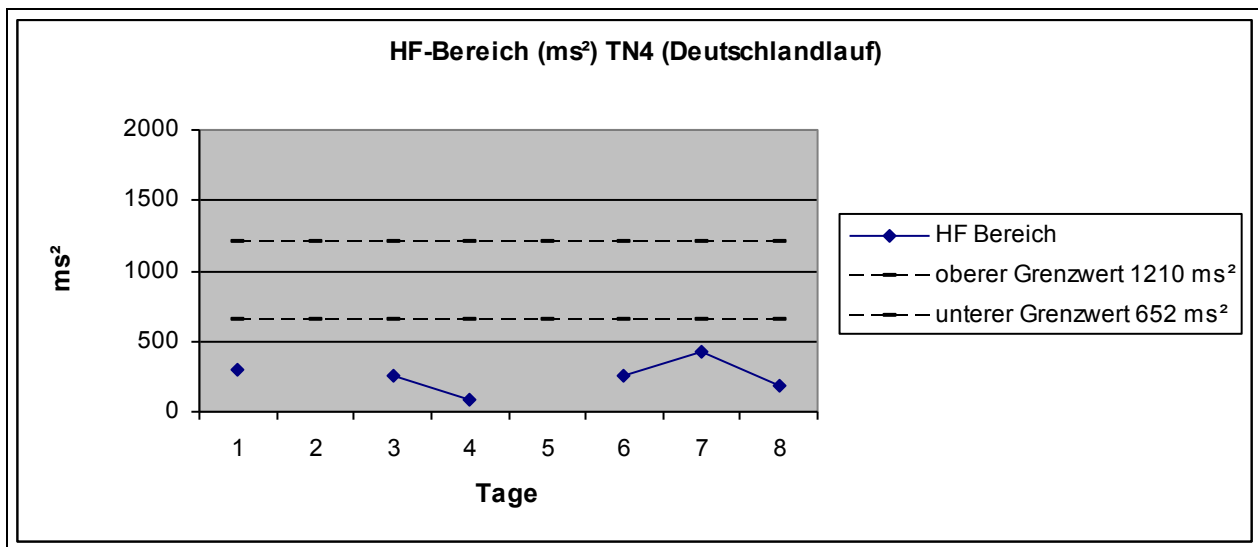


Abb. 150: Verlauf der Werte des HF-Bereichs während des Deutschlandlaufs bei TN4

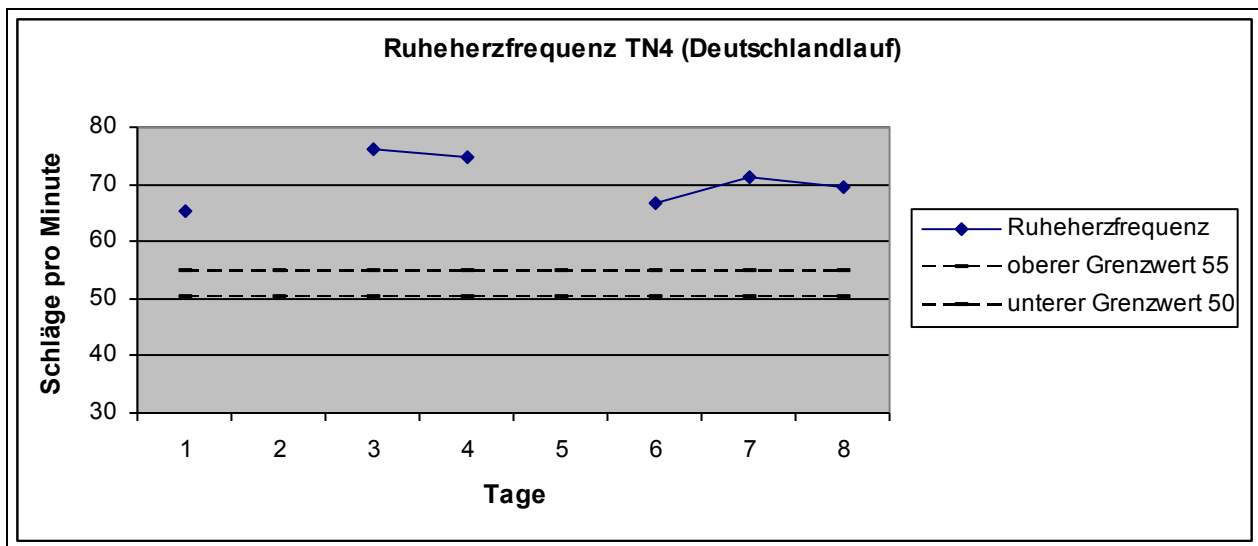


Abb. 151: Verlauf der Ruheherzfrequenz während des Deutschlandlaufs bei TN4

Tab. 46: Zusammenfassung der kardiologischen Messparameter während des Deutschlandlaufs bei TN4.

	Mittelwert	Standardabweichung	oberer Grenzwert	unterer Grenzwert	Maßeinheit
<b>RRsd</b>	38,07	9,91	67,97	40,75	ms
<b>rMSSD</b>	26,18	6,53	60,78	40,52	ms
<b>SD1</b>	18,92	4,74	28,97	43,57	ms
<b>SD2</b>	79,08	27,76	151,79	58,43	ms
<b>HF (%)</b>	18,24	8,23	47,16	21,65	%
<b>LF (%)</b>	72,01	7,63	70,41	45,85	%
<b>HF (ms<sup>2</sup>)</b>	252,47	111,31	1210,16	652,00	ms <sup>2</sup>
<b>LF (ms<sup>2</sup>)</b>	1122,41	667,34	3030,71	722,87	ms <sup>2</sup>
<b>Ruheherzfrequenz</b>	70,63	4,32	54,92	50,40	Schläge/Min.

Aufgrund der fehlerhaften Messungen am zweiten und fünften Wettkampftag und lediglich acht absolvierter Wettkampftage ist die Vorhersagequalität der Wahrscheinlichkeit des Auftretens eines kritischen Ereignisses (Unter- oder Überschreiten des jeweiligen Grenzwertes über drei aufeinanderfolgende Tage) deutlich eingeschränkt. In diesem Fall wird daher auch auf weitere, vereinzelte Grenzwertunter- bzw. Grenzwertüberschreitungen eingegangen.

So bewegen sich die Mittelwerte der Parameter RRsd, rMSSD, SD1 und SD2 sowie die Mittelwerte der Spektralleistung im HF- und im LF-Bereich während des Deutschlandlaufs auf einem deutlich niedrigeren Niveau als während der Normwertbestimmung. Die Werte der Zeitbereichsparameter rMSSD und SD1 sowie die Spektralleistung im HF-Bereich bewegen sich an sämtlichen Wettkampftagen unterhalb des Normbereichs, die Werte des RRsd liegen an vier von sechs Messtagen unter dem vordefinierten unteren Grenzwert. Gleichzeitig ist die Ruheherzfrequenz des Teilnehmers im Vergleich zur Normwertbestimmung im Mittel um 18 Schläge pro Minute erhöht.

Folgende kritische Ereignisse treten in Bezug auf die Parameter der Herzfrequenzvariabilität und die Ruheherzfrequenz bei TN4 während des Deutschlandlaufs auf:

- Die Werte der Parameter rMSSD und SD1 sowie die Spektralleistung im HF-Bereich unterschreiten an sämtlichen Messtagen (1., 3., 4., 6., 7., 8. Wettkampftag) den vordefinierten unteren Grenzwert.
- Die Ruheherzfrequenz überschreitet den Normbereich an sämtlichen Messtagen (1., 3., 4., 6., 7., 8. Wettkampftag).

### Regeneration

Die Messungen der Herzfrequenzvariabilität und Ruheherzfrequenz wurden vom 16.9.08 bis 30.9.08 durchgeführt, insgesamt wurden 15 Messtage berücksichtigt.

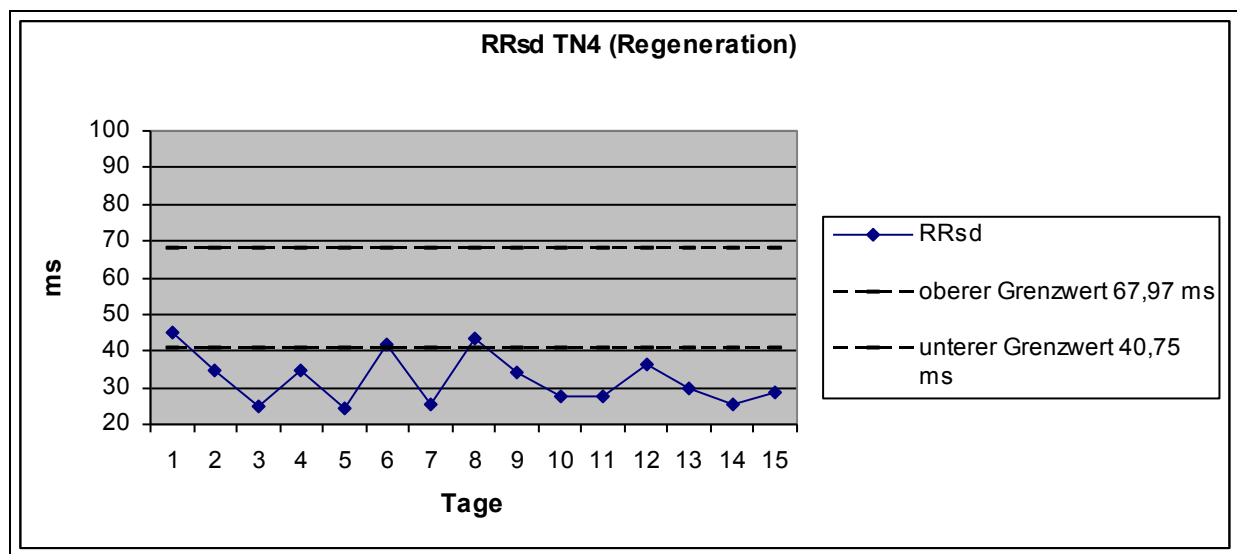


Abb. 152: Verlauf des RRsd während der Regenerationsphase bei TN4

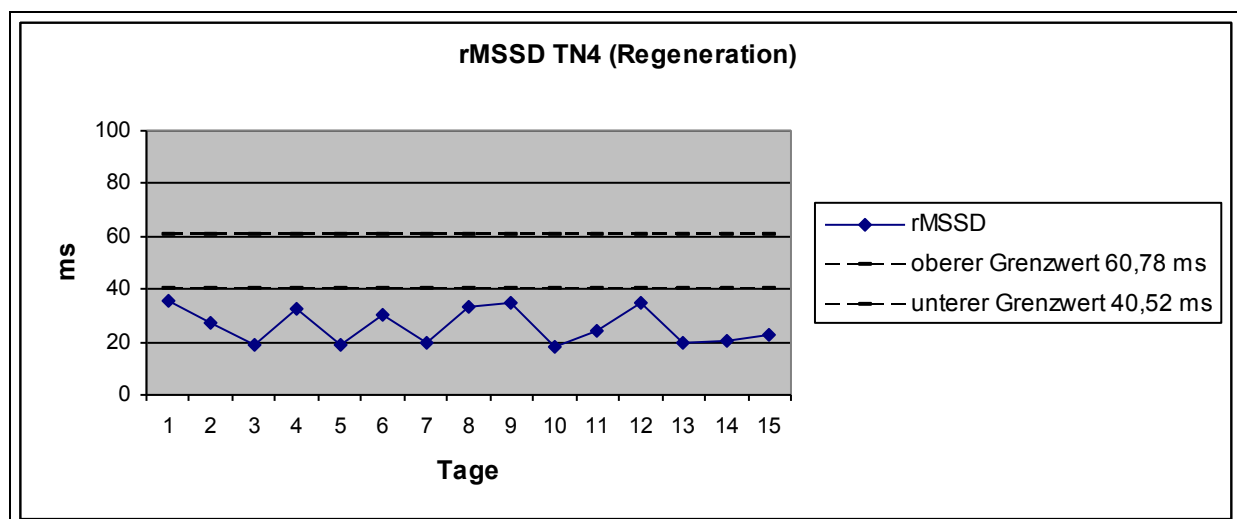


Abb. 153: Verlauf des rMSSD während der Regenerationsphase bei TN4

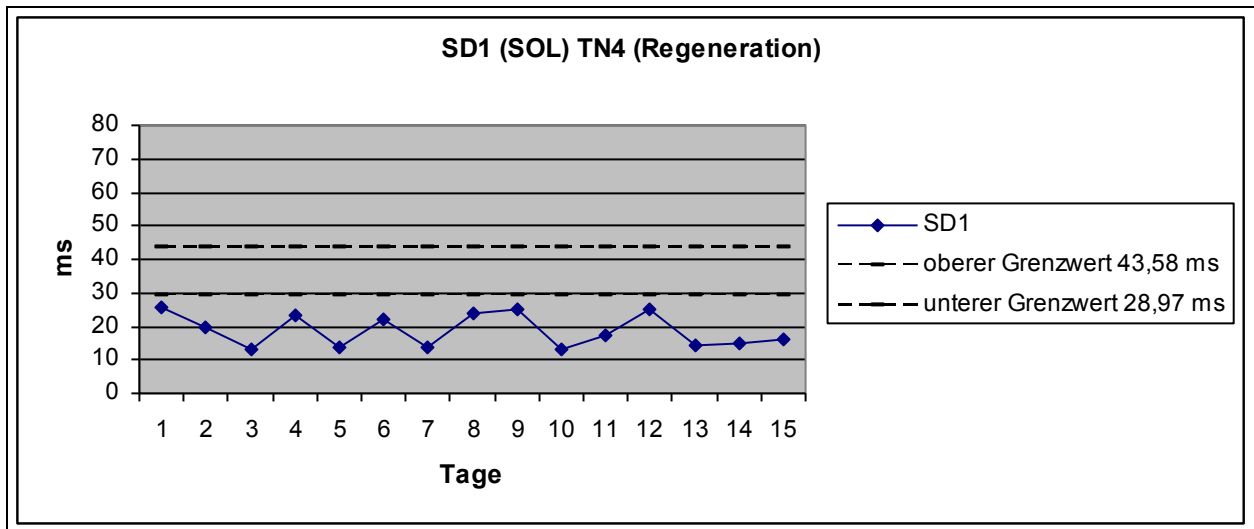


Abb. 154: Verlauf des SD1 während der Regenerationsphase bei TN4

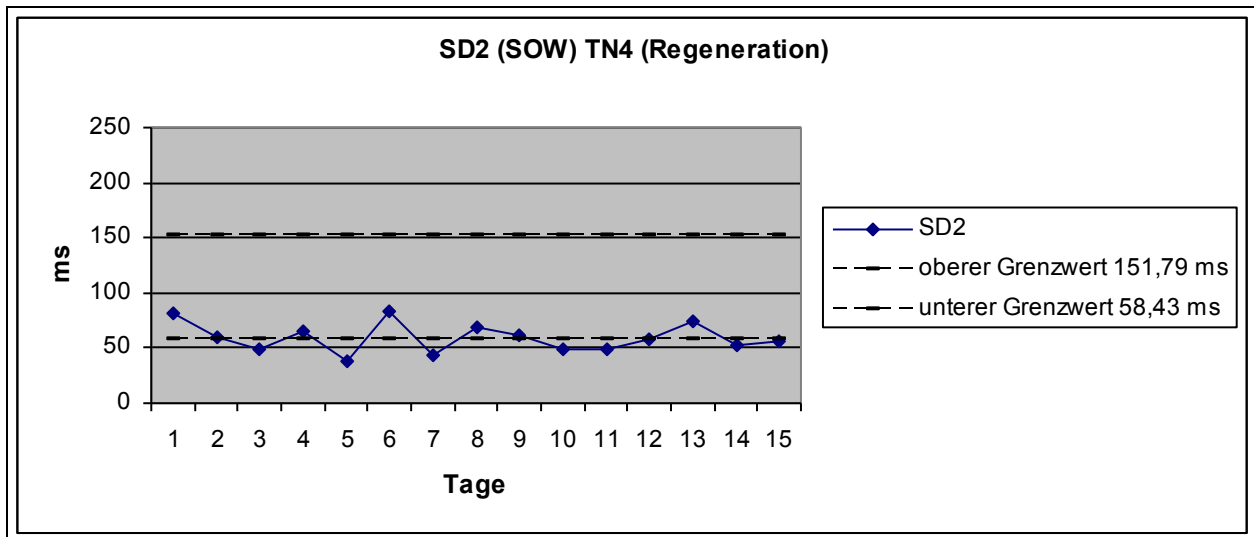


Abb. 155: Verlauf des SD2 während der Regenerationsphase bei TN4

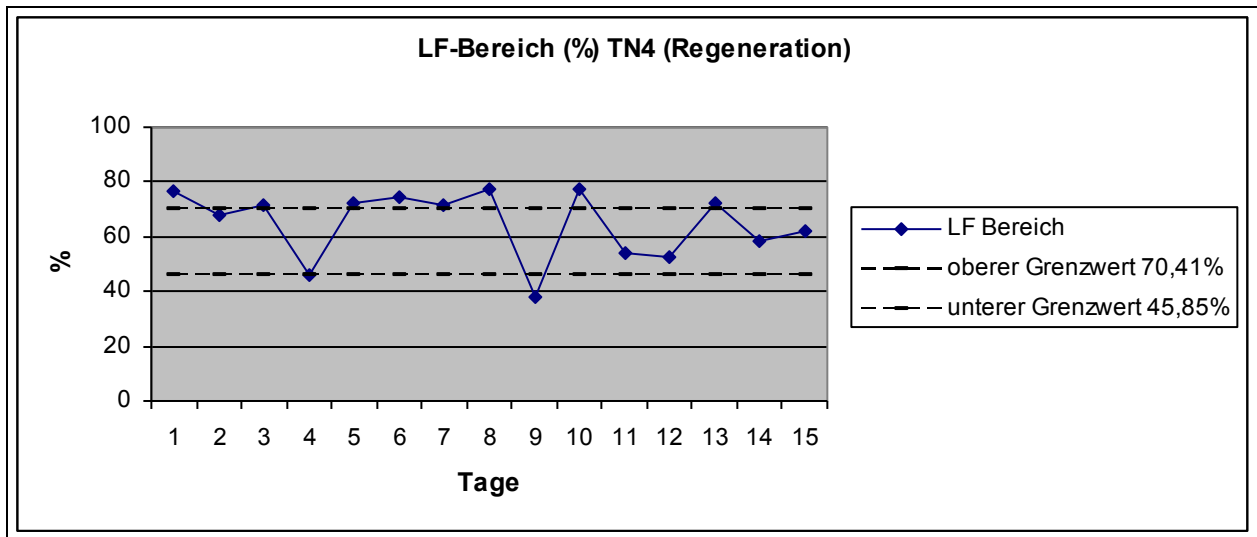


Abb. 156: Verlauf der Werte des LF-Bereichs (%) während der Regenerationsphase bei TN4

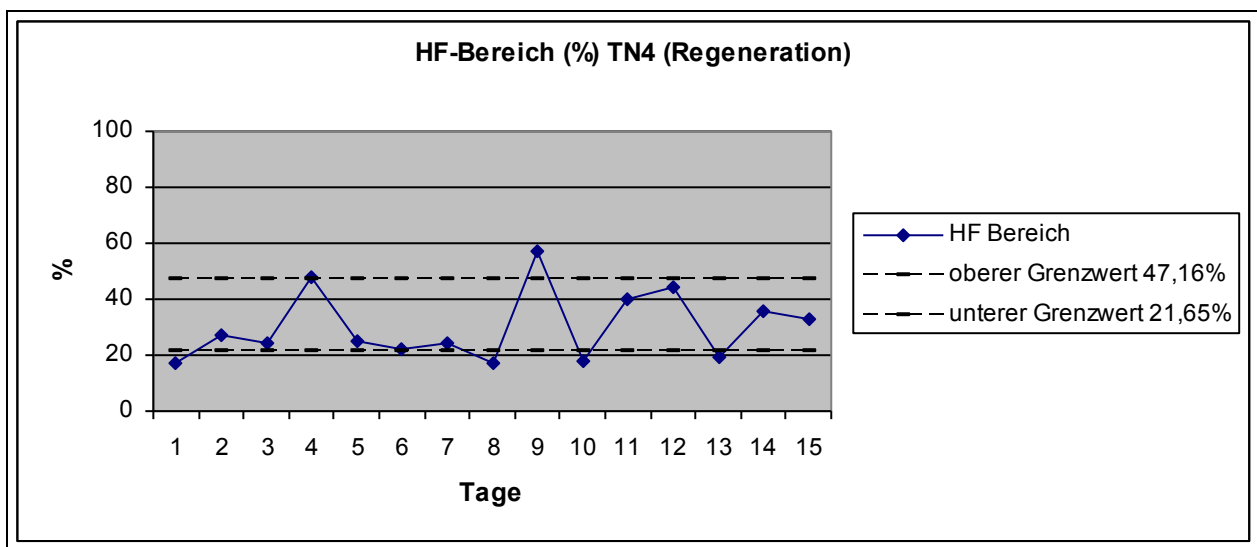


Abb. 157: Verlauf der Werte des HF-Bereichs (%) während der Regenerationsphase bei TN4

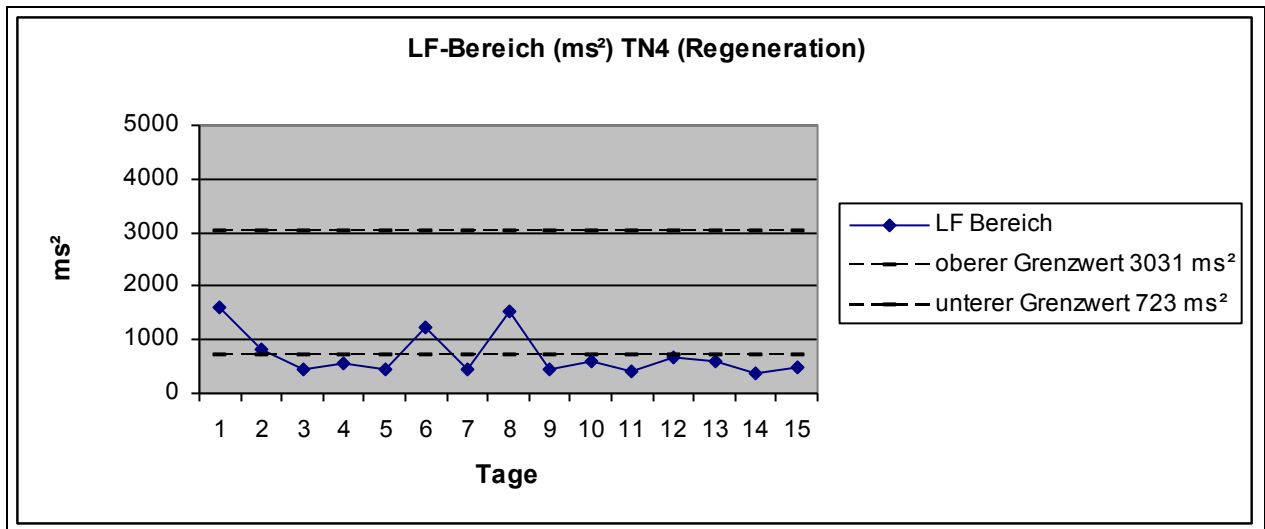


Abb. 158: Verlauf der Werte des LF-Bereichs ( $\text{ms}^2$ ) während der Regenerationsphase bei TN 4

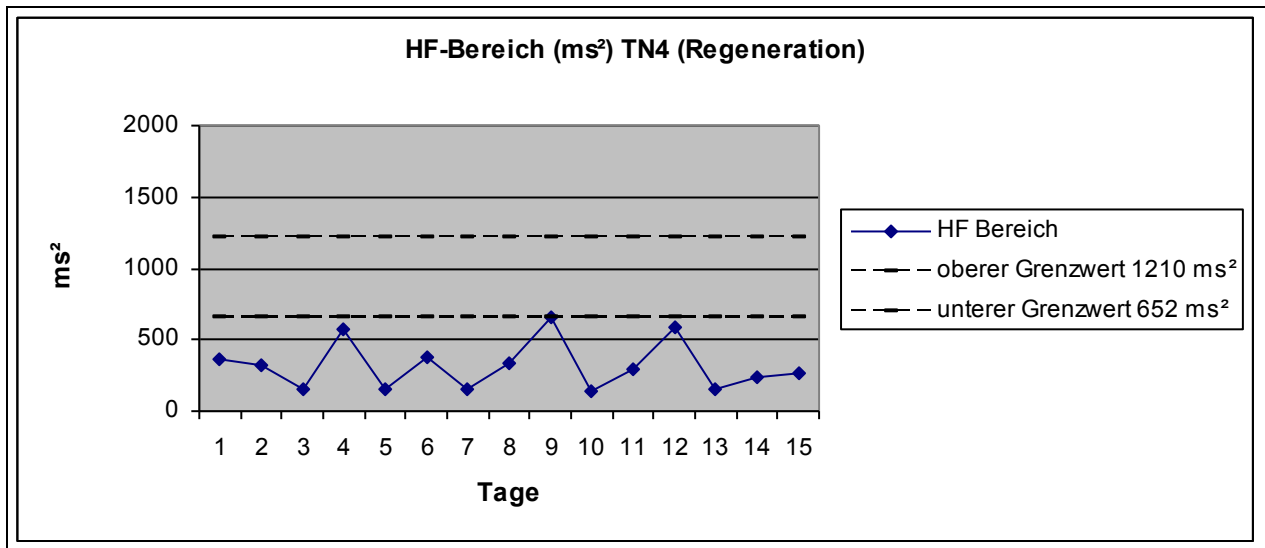


Abb. 159: Verlauf der Werte des HF-Bereichs ( $\text{ms}^2$ ) während der Regenerationsphase bei TN4

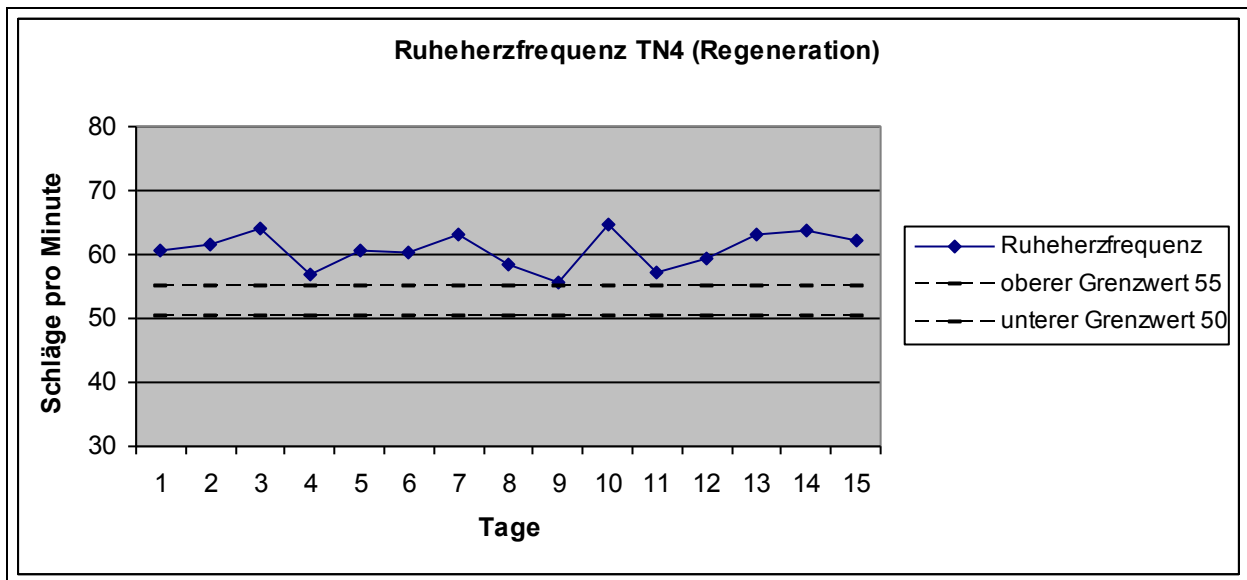


Abb. 160: Verlauf der Ruheherzfrequenz während der Regenerationsphase bei TN4

Tab. 47: Zusammenfassung der kardiologischen Messparameter während der Regenerationsphase bei TN4.

	Mittelwert	Standardabweichung	oberer Grenzwert	unterer Grenzwert	Maßeinheit
RRsd	32,30	6,95	67,97	40,75	ms
rMSSD	26,08	6,79	60,78	40,52	ms
SD1	18,69	4,84	28,97	43,57	ms
SD2	59,27	13,16	151,79	58,43	ms
HF (%)	30,21	12,39	47,16	21,65	%
LF (%)	64,73	12,36	70,41	45,85	%
HF (ms <sup>2</sup> )	317,58	168,61	1210,16	652,00	ms <sup>2</sup>
LF (ms <sup>2</sup> )	711,95	406,46	3030,71	722,87	ms <sup>2</sup>
Ruheherzfrequenz	60,80	2,83	54,92	50,40	Schläge/Min.

Ebenso wie während des Deutschlandlaufs zeigen sich die Parameter der Herzfrequenzvariabilität und die Ruheherzfrequenz bei diesem Teilnehmer während der Regenerationsphase im Vergleich zur Normwertbestimmung deutlich verändert.

Die Mittelwerte der Zeitbereichsparameter RRsd, rMSSD, SD1 und SD2 sind ebenso wie die Spektralleistung im LF- und HF-Bereich deutlich erniedrigt, gleichzeitig ist die mittlere Ruheherzfrequenz um 8 Schläge pro Minute erhöht.

Es treten während der Regenerationsphase bei TN4 folgende weitere kritische Ereignisse auf:

- Die Werte des Parameters RRsd unterschreiten den Normbereich vom 2. bis 5. sowie vom 9. bis 15. Regenerationstag.
- Die Werte der Parameter rMSSD sowie SD1 unterschreiten den Normbereich vom 1. bis 15. Regenerationstag.

- Die Werte des Parameters SD2 unterschreiten den Normbereich vom 10. bis 12. Regenerationstag.
- Der prozentuale LF-Anteil am Gesamtspektrum überschreitet den Normbereich vom 5. bis 8. Regenerationstag.
- Die Spektralleistung im LF-Bereich unterschreitet den Normbereich vom 3. bis 5 sowie vom 9. bis 15. Regenerationstag.
- Die Spektralleistung im HF-Bereich unterschreitet den Normbereich vom 1. bis 15. Regenerationstag.
- Die Ruheherzfrequenz überschreitet den Normbereich vom 1. bis 15. Regenerationstag.

#### 5.2.4.5 TN5

##### *Normwertbestimmung*

Die Verläufe der einzelnen Parameter der Herzfrequenzvariabilität sowie der Ruheherzfrequenz beziehen sich auf die Zeit vom 26.6.08 – 3.7.08 (Messtage 1 bis 7) sowie vom 28.7.08 – 3.8.08 (Messtage 9 bis 15). Insgesamt konnten 14 Messungen für die Erstellung der Normwertbereiche berücksichtigt werden. Die Darstellung der Parameterverläufe und ermittelten Grenzwerte erfolgt anhand nachstehender Abbildungen.

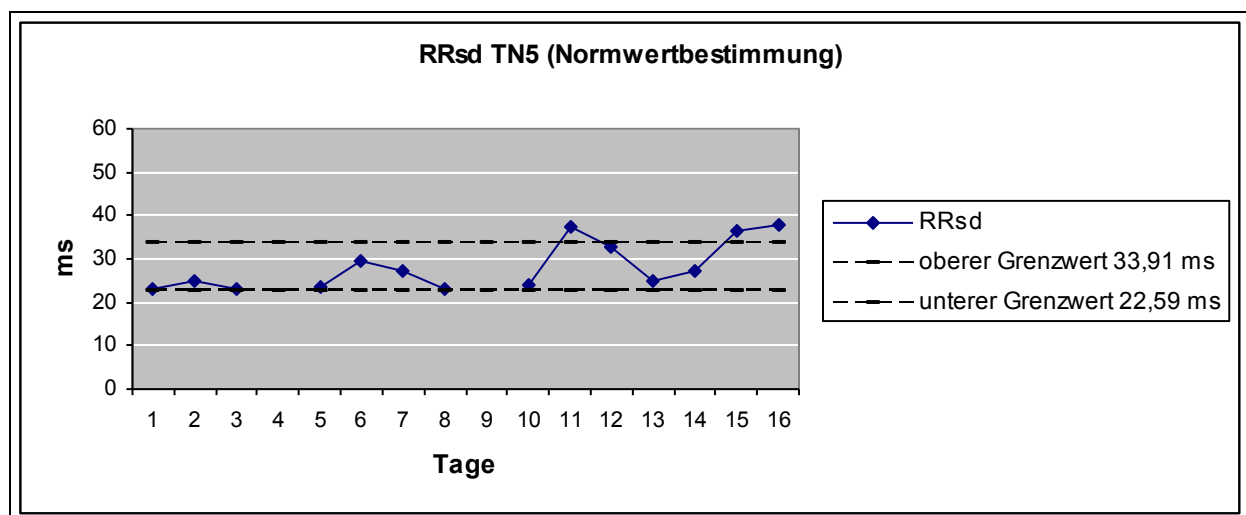


Abb. 161: Verlauf des RRsd während der Normwertbestimmung bei TN5



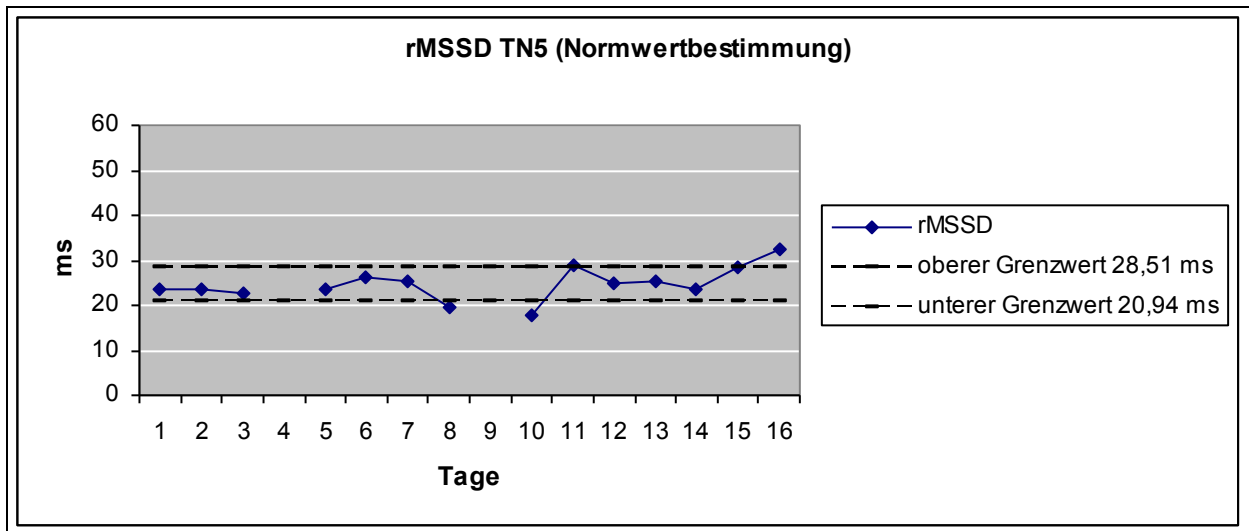


Abb. 162: Verlauf des rMSSD während der Normwertbestimmung bei TN5

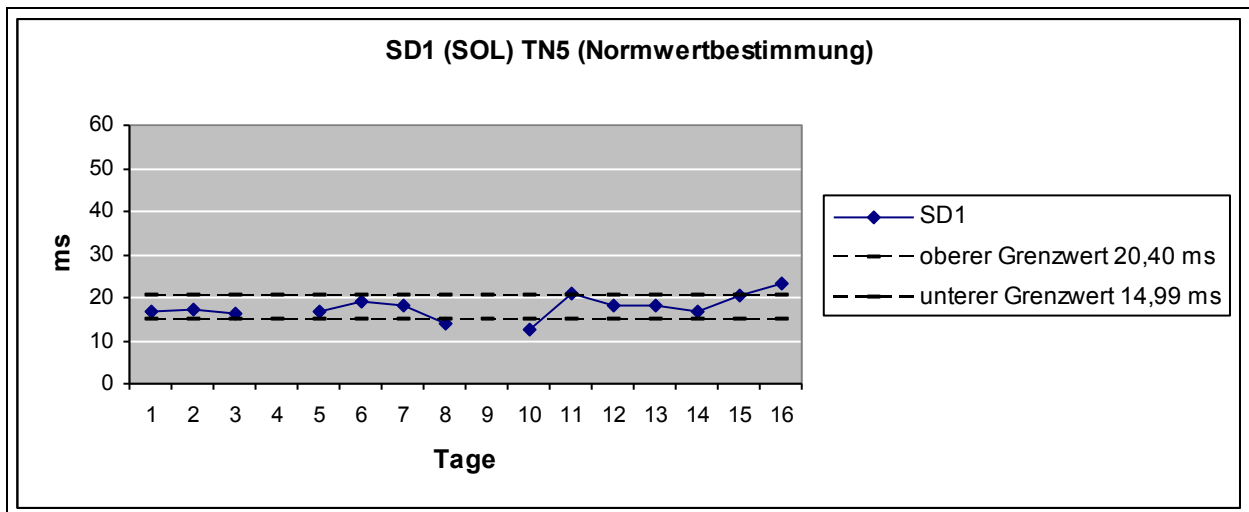


Abb. 163: Verlauf des SD1 während der Normwertbestimmung bei TN5

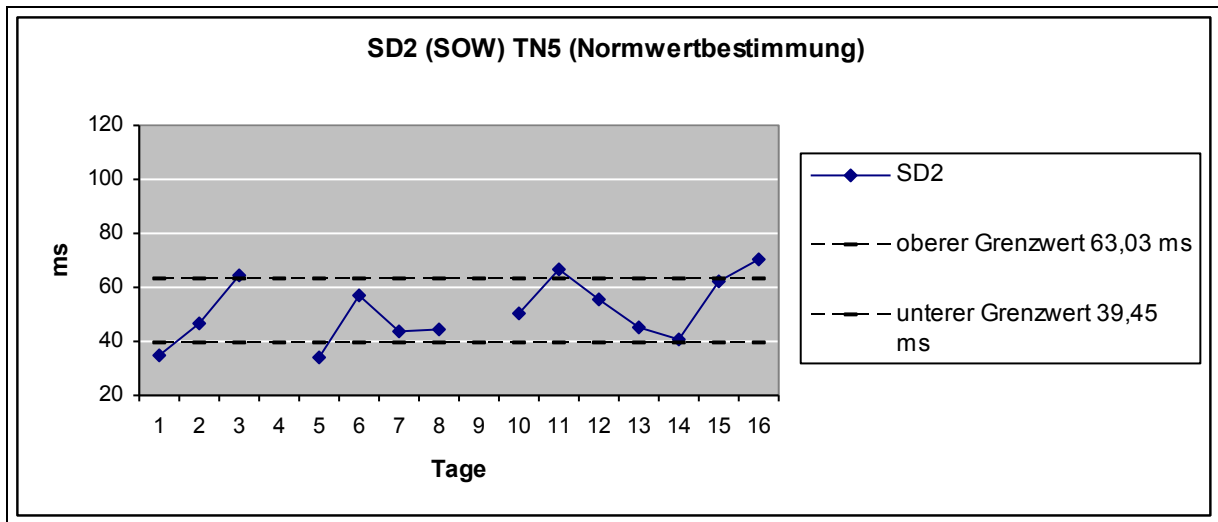


Abb. 164: Verlauf des SD2 während der Normwertbestimmung bei TN5

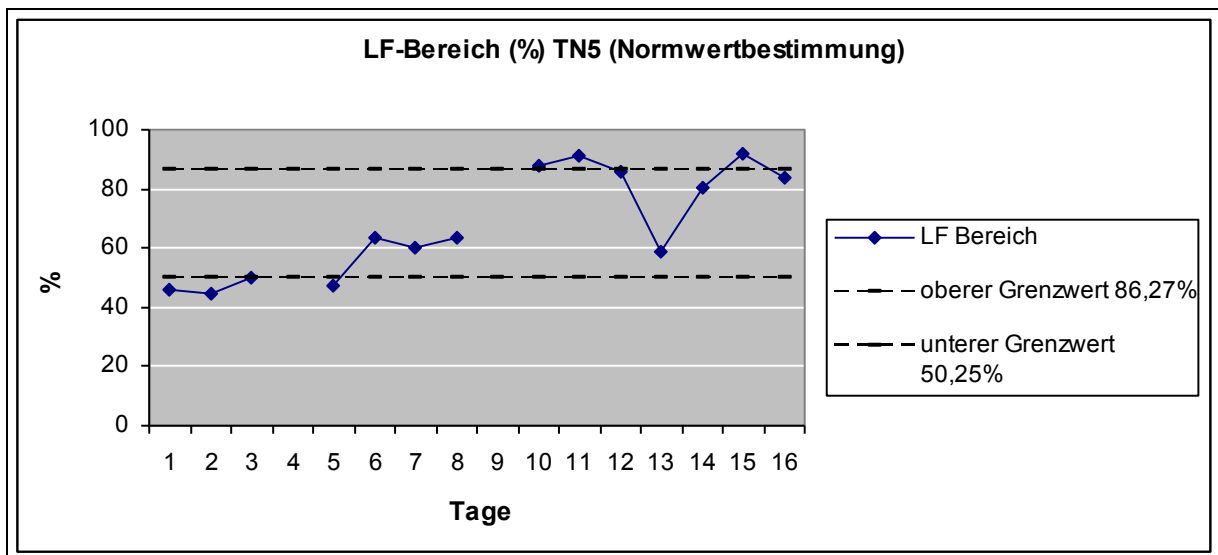


Abb. 165: Verlauf der Werte des LF-Bereichs (%) während der Normwertbestimmung bei TN5

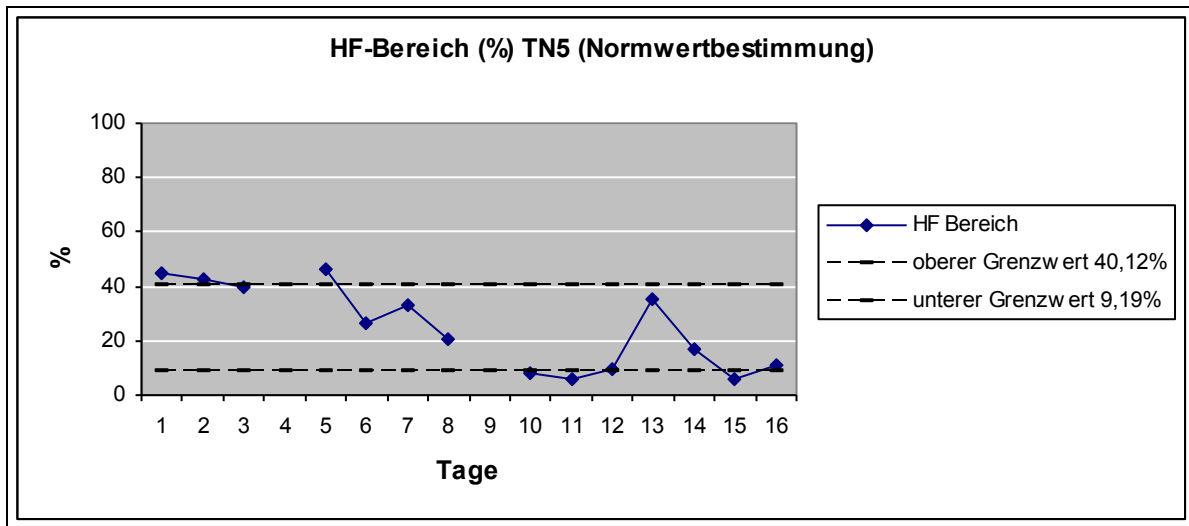


Abb. 166: Verlauf der Werte des HF-Bereichs (%) während der Normwertbestimmung bei TN5

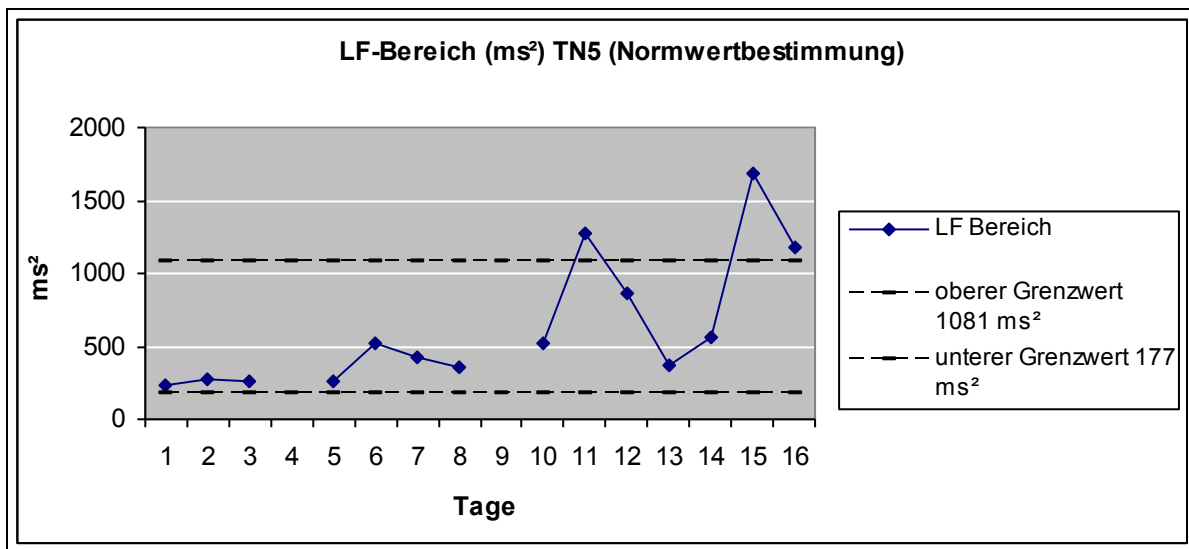


Abb. 167: Verlauf der Werte des LF-Bereichs ( $\text{ms}^2$ ) während der Normwertbestimmung bei TN5

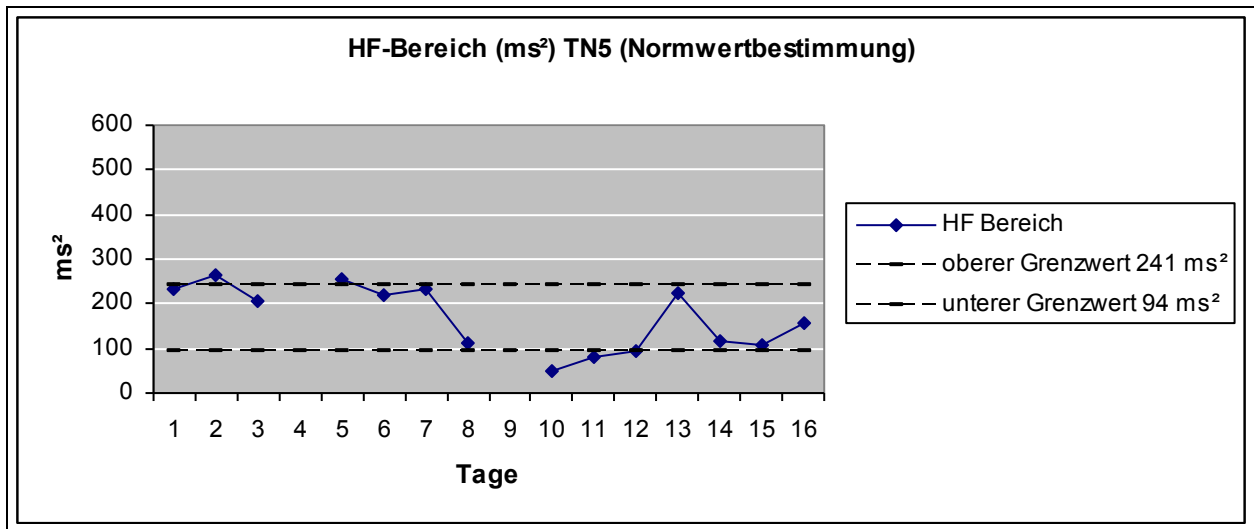


Abb. 168: Verlauf der Werte des HF-Bereichs ( $\text{ms}^2$ ) während der Normwertbestimmung bei TN5

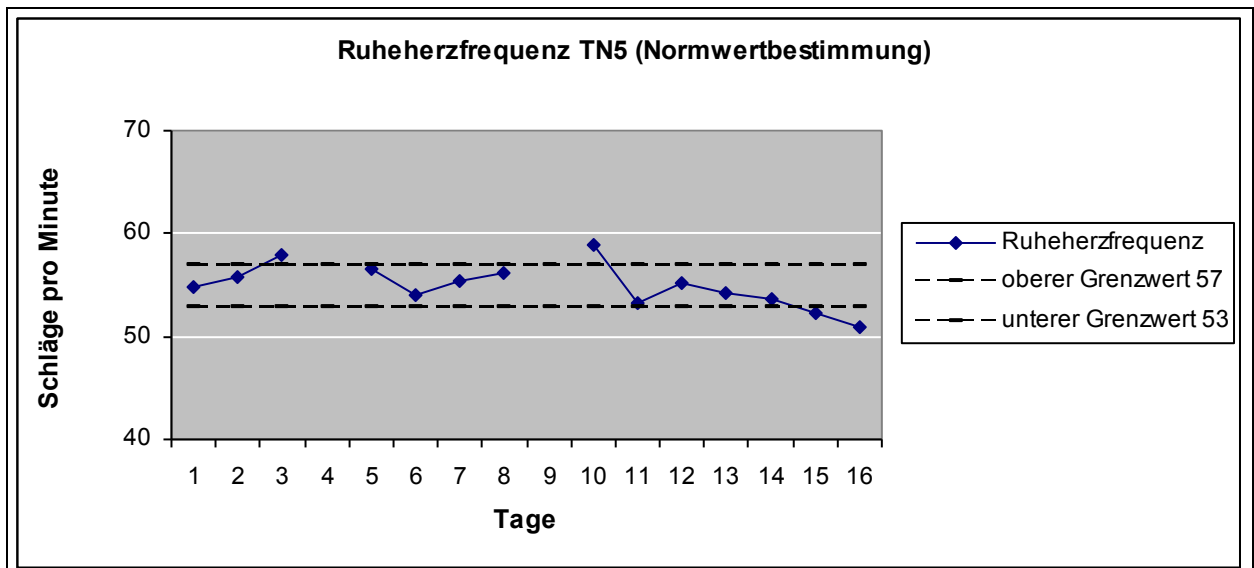


Abb. 169: Verlauf der Ruheherzfrequenz während der Normwertbestimmung bei TN5

Tab. 48: Zusammenfassung der kardiologischen Messparameter während der Normwertbestimmung bei TN4.

	Mittelwert	Standardabweichung	oberer Grenzwert	unterer Grenzwert	Maßeinheit
<b>RRsd</b>	28,25	5,66	33,91	22,59	ms
<b>rMSSD</b>	24,72	3,79	28,51	20,94	ms
<b>SD1</b>	16,69	2,70	20,40	15,00	ms
<b>SD2</b>	51,24	11,79	63,03	39,45	ms
<b>HF (%)</b>	24,65	15,47	40,12	9,19	%
<b>LF (%)</b>	68,26	18,01	86,27	50,25	%
<b>HF (ms<sup>2</sup>)</b>	167,81	73,40	241,21	94,41	ms <sup>2</sup>
<b>LF (ms<sup>2</sup>)</b>	629,45	451,96	1081,41	177,49	ms <sup>2</sup>
<b>Ruheherzfrequenz</b>	54,93	2,10	57,03	52,83	Schläge/Min.

Die ermittelten Werte der Parameter der Herzfrequenzvariabilität bewegen sich während der Phase der Normwertbestimmung in einem im Vergleich zu den anderen Teilnehmern relativ niedrigen Wertebereich und zeichnen sich vor allen Dingen bei den Parametern rMSSD, SD1 sowie RRsd durch nur geringfügige Schwankungen aus.

#### Deutschlandlauf

Die Messungen der Herzfrequenzvariabilität und Herzfrequenz wurden an zwölf von 17 bis Wettkampftagen (8.9.08–11.9.08, 14.9.08–17.9.08, 21.9.08–24.9.08) durchgeführt. Die Verläufe sind nachstehend dargestellt.

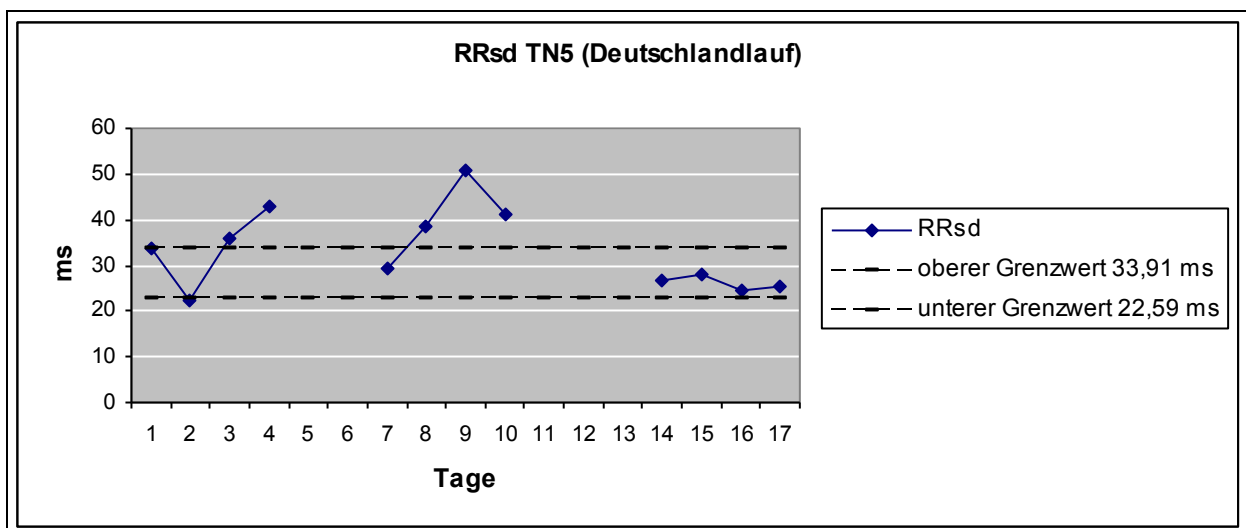


Abb. 170: Verlauf des RRsd während des Deutschlandlaufs bei TN5

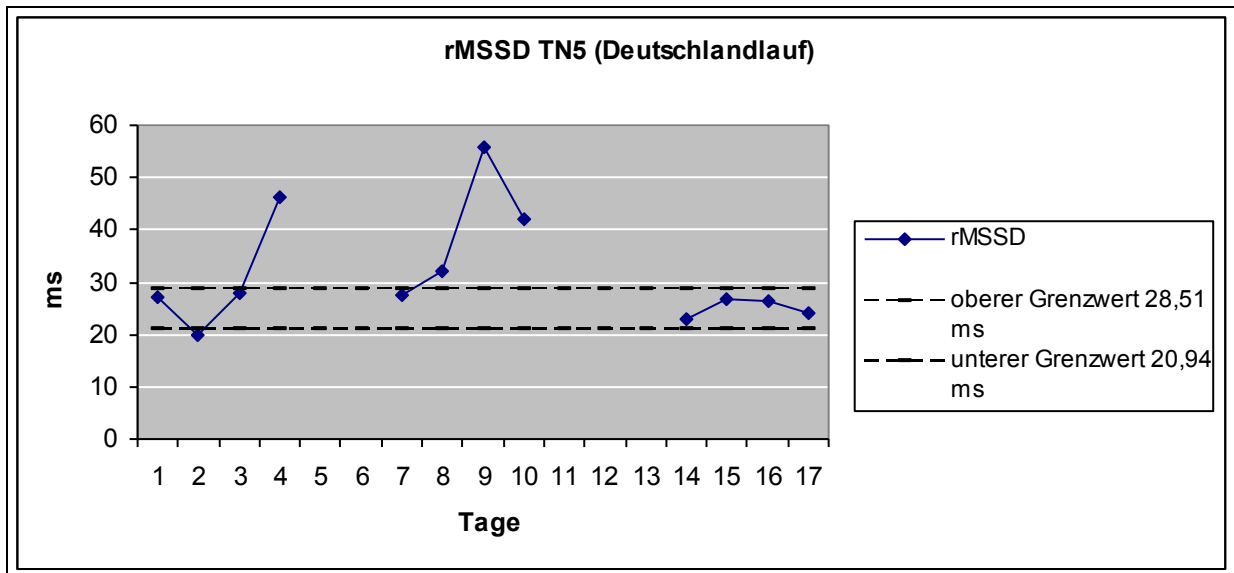


Abb. 171: Verlauf des rMSSD während des Deutschlandlaufs bei TN5

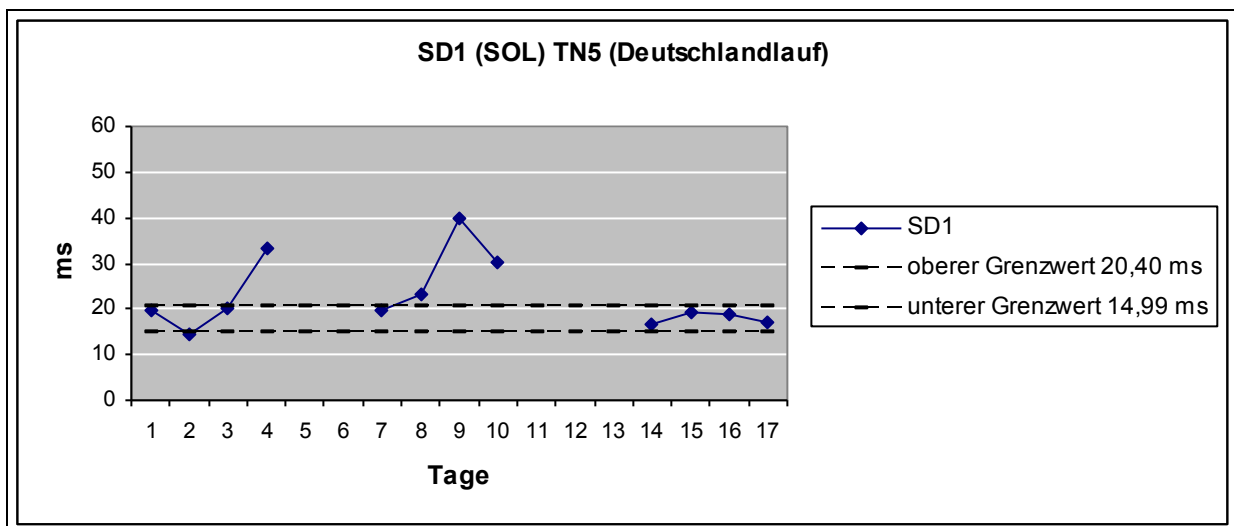


Abb. 172: Verlauf des SD1 während des Deutschlandlaufs bei TN5

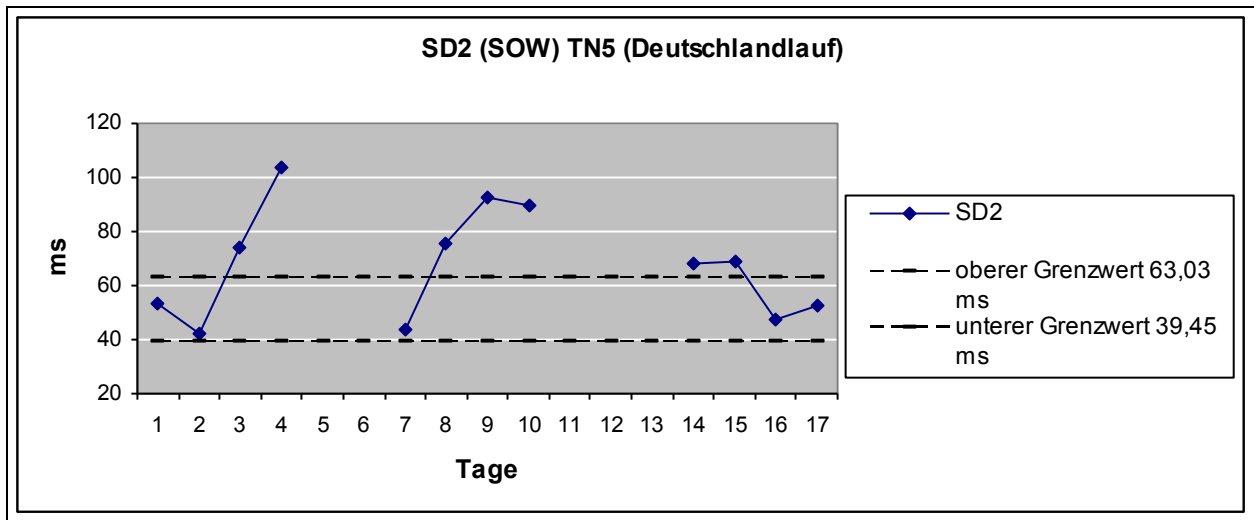


Abb. 173: Verlauf des SD2 während des Deutschlandlaufs bei TN5

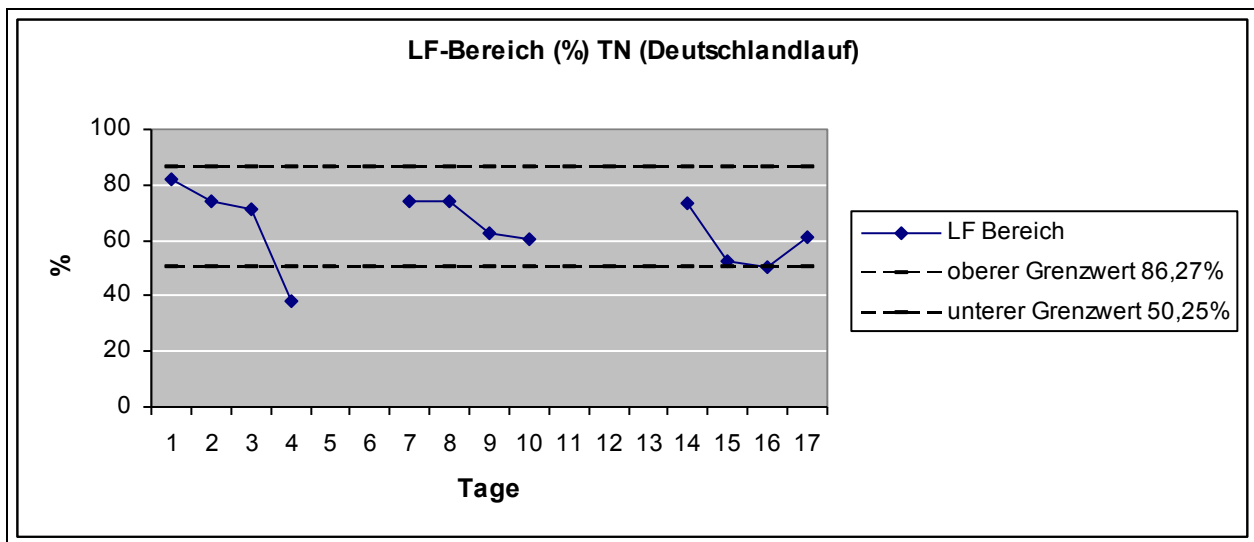


Abb. 174: Verlauf der Werte des LF-Bereichs (%) während des Deutschlandlaufs bei TN5

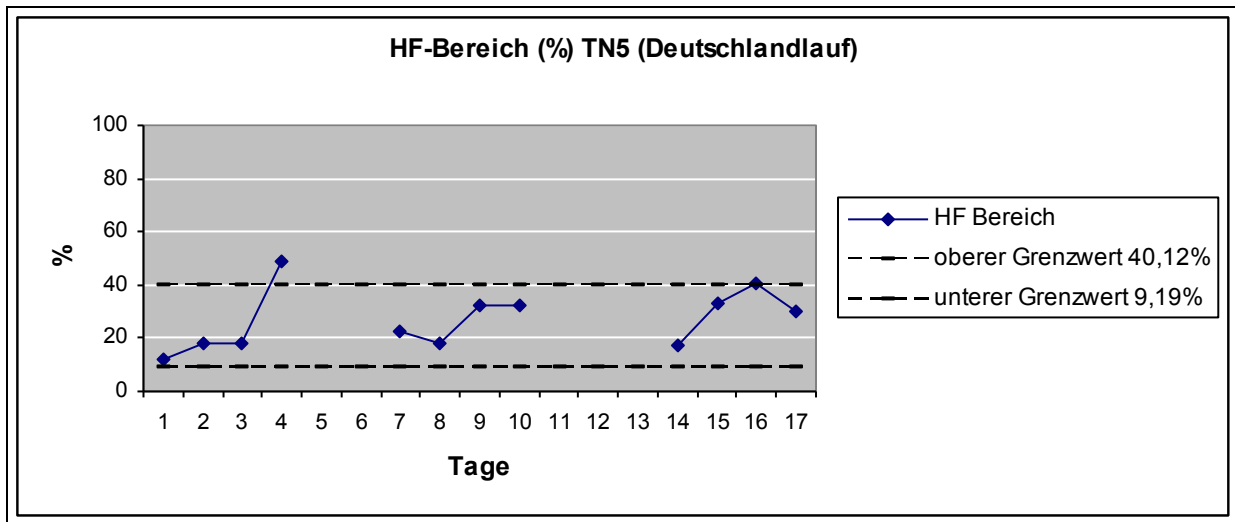


Abb. 175: Verlauf der Werte des HF-Bereichs (%) während des Deutschlandlaufs bei TN5

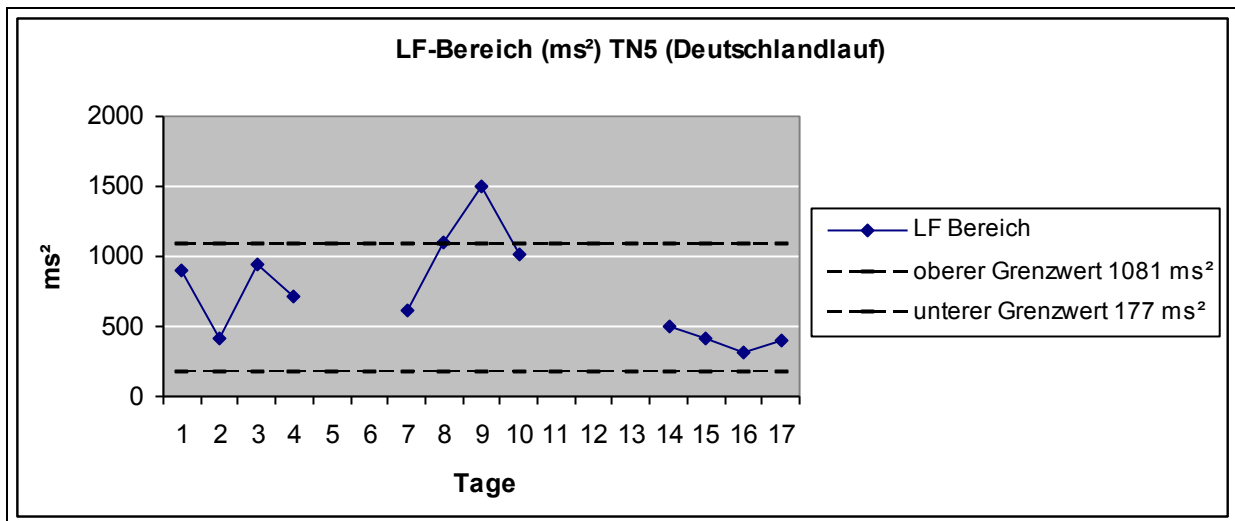


Abb. 176: Verlauf der Werte des LF-Bereichs ( $\text{ms}^2$ ) während des Deutschlandlaufs bei TN5



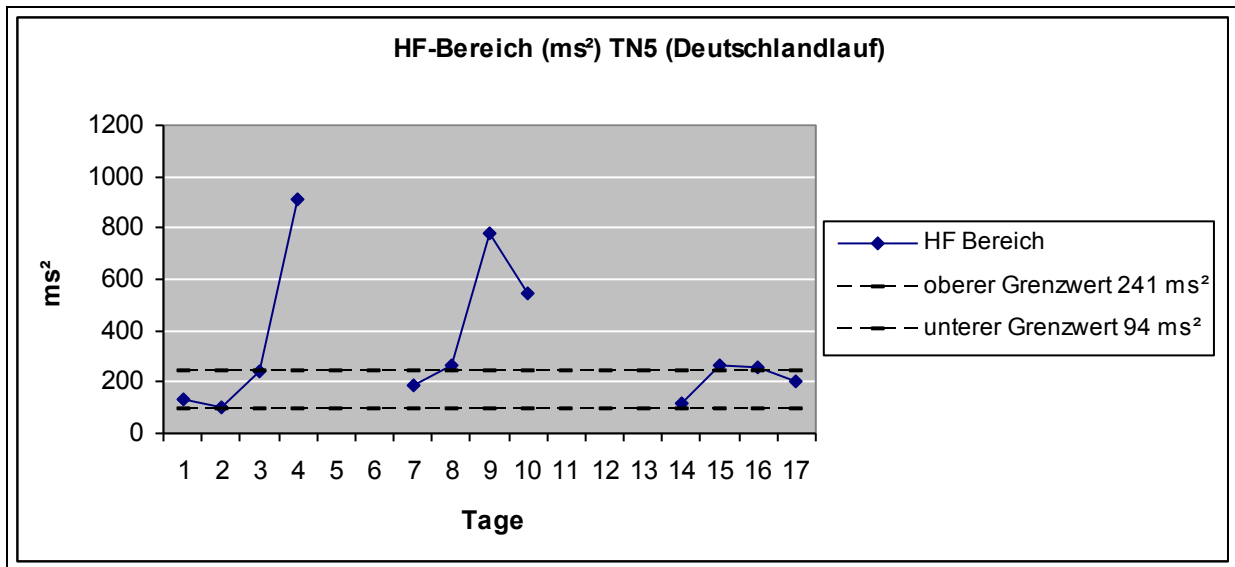


Abb. 177: Verlauf der Werte des HF-Bereichs ( $\text{ms}^2$ ) während des Deutschlandlaufs bei TN5

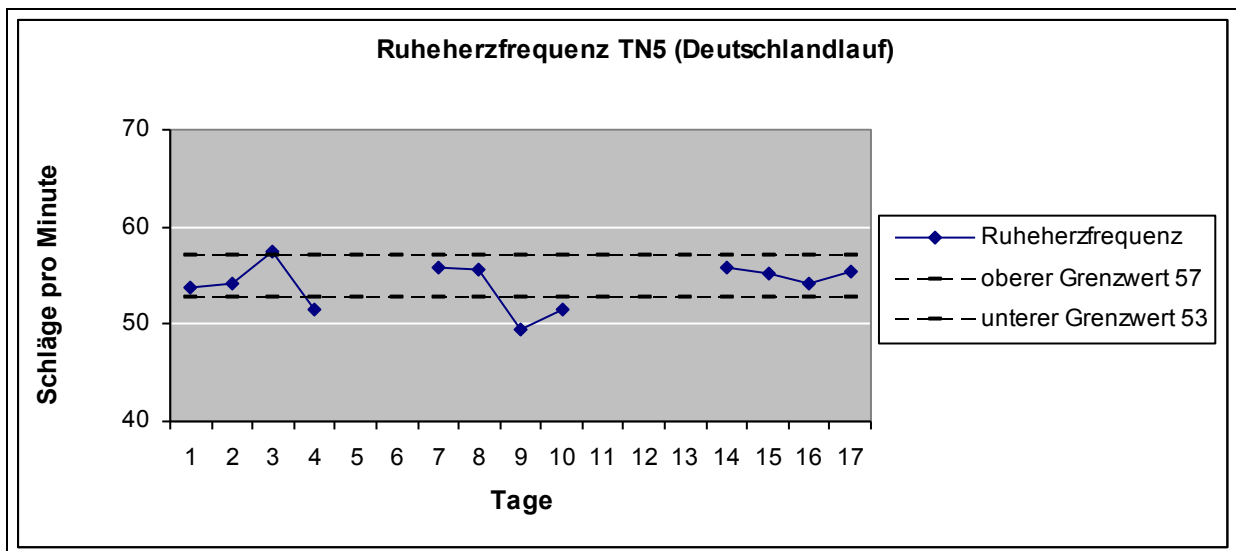


Abb. 178: Verlauf der Ruheherzfrequenz während des Deutschlandlaufs bei TN5

Tab. 49: Zusammenfassung der kardiologischen Messparameter während des Deutschlandlaufs bei TN5.

	Mittelwert	Standardabweichung	oberer Grenzwert	unterer Grenzwert	Maßeinheit
<b>RRsd</b>	33,25	8,71	33,91	22,59	ms
<b>rMSSD</b>	31,54	10,77	28,51	20,94	ms
<b>SD1</b>	22,59	7,70	20,40	15,00	ms
<b>SD2</b>	67,58	20,37	63,03	39,45	ms
<b>HF (%)</b>	26,95	11,05	40,12	9,19	%
<b>LF (%)</b>	64,48	12,78	86,27	50,25	%
<b>HF (ms<sup>2</sup>)</b>	333,05	267,50	241,21	94,41	ms <sup>2</sup>
<b>LF (ms<sup>2</sup>)</b>	735,58	359,75	1081,41	177,49	ms <sup>2</sup>
<b>Ruheherzfrequenz</b>	54,20	2,29	57,03	52,83	Schläge/Min.

Die Mittelwerte der Parameter der Herzfrequenzvariabilität bewegen sich bei TN5 während des Deutschlandlaufs im Vergleich zur Normwertbestimmung auf einem gleichbleibenden (RRsd, SD2, Spektralleistung im LF-Band) bzw. tendenziell leicht erhöhten Niveau (rMSSD, SD1, Spektralleistung im HF-Band).

Kritische Ereignisse zeigen sich für folgende Parameter der Herzfrequenzvariabilität:

- Die Werte der Parameter RRsd, rMSSD, SD1 und SD2 sowie die Spektralleistung im HF-Frequenzband liegen vom 8. bis 10. Wettkampftag oberhalb des vordefinierten Normbereichs.

Die Ruheherzfrequenz bewegt sich im Mittel bei 54 Schlägen pro Minute, minimal unterhalb des Mittelwerts der Normwertbestimmung. Die Herzfrequenz zeigt einen konstanten Verlauf und unterschreitet den Normbereich lediglich am vierten, neunten und zehnten Wettkampftag.

### Regeneration

Vom 25.9.08 bis 8.10.08 sind vom Teilnehmer lediglich vier Messungen der Herzfrequenz und Herzfrequenzvariabilität durchgeführt worden, die mit entsprechender Zurückhaltung interpretiert werden müssen.

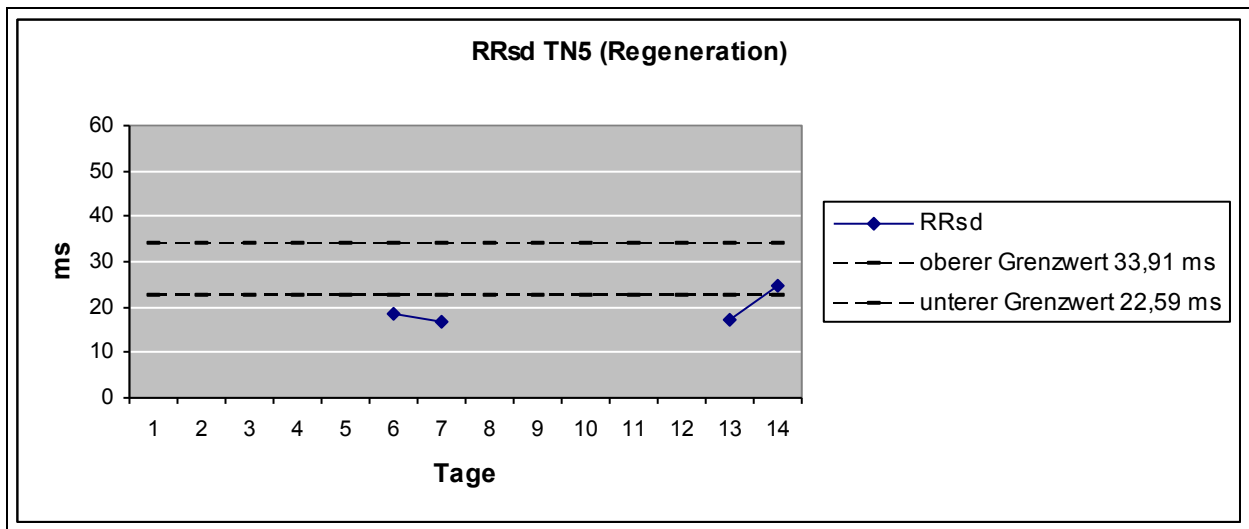


Abb. 179: Verlauf des RRsd während der Regenerationsphase bei TN5

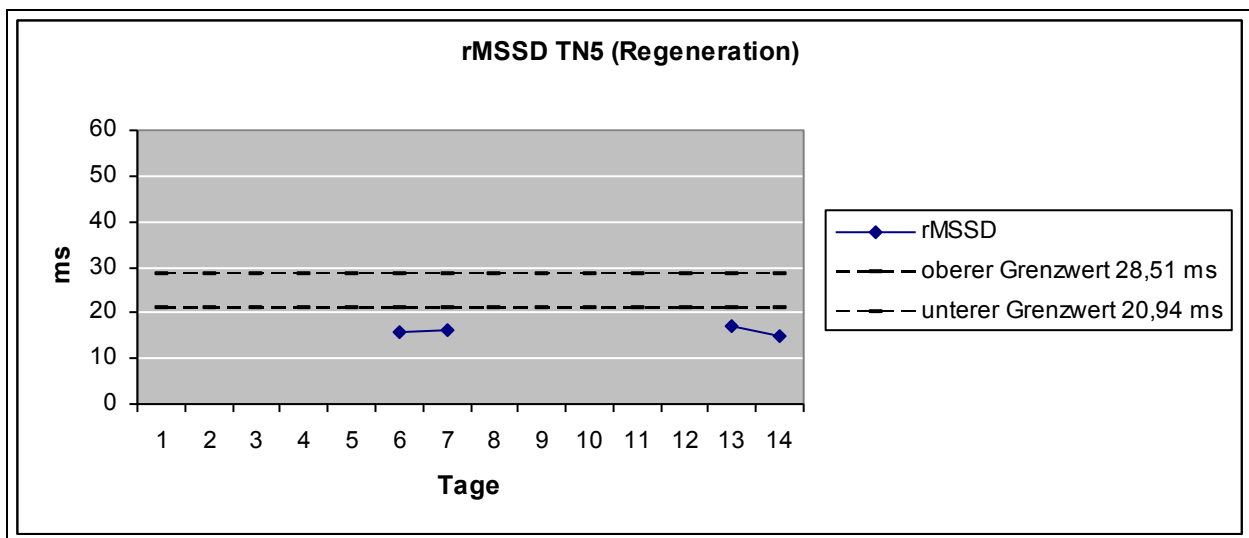


Abb. 180: Verlauf des rMSSD während der Regenerationsphase bei TN5

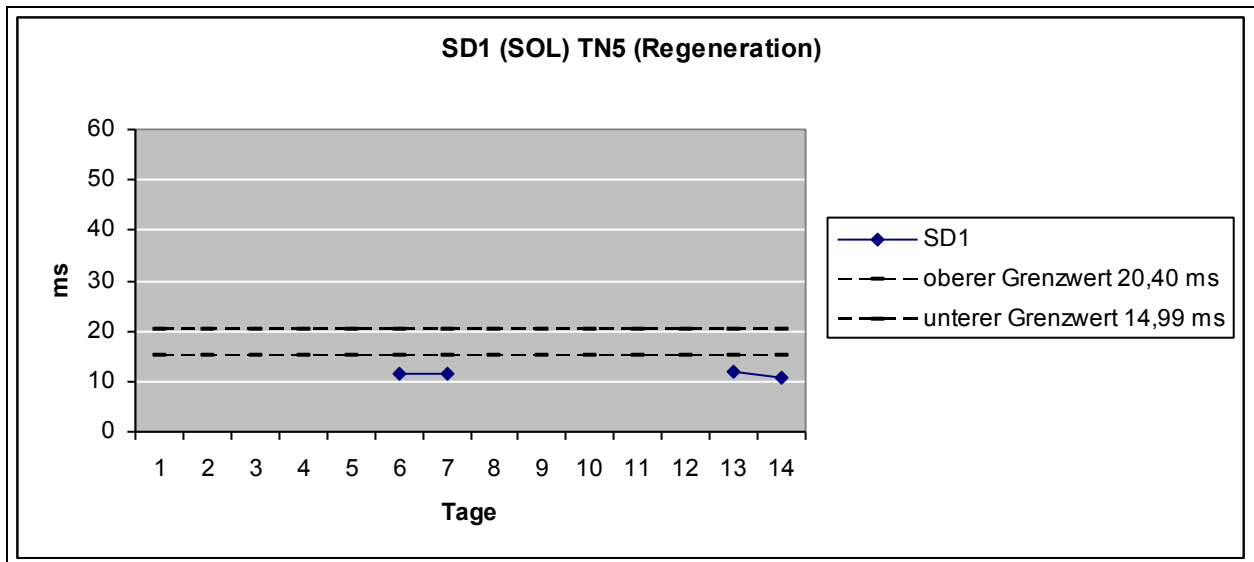


Abb. 181: Verlauf des SD1 während der Regenerationsphase bei TN5

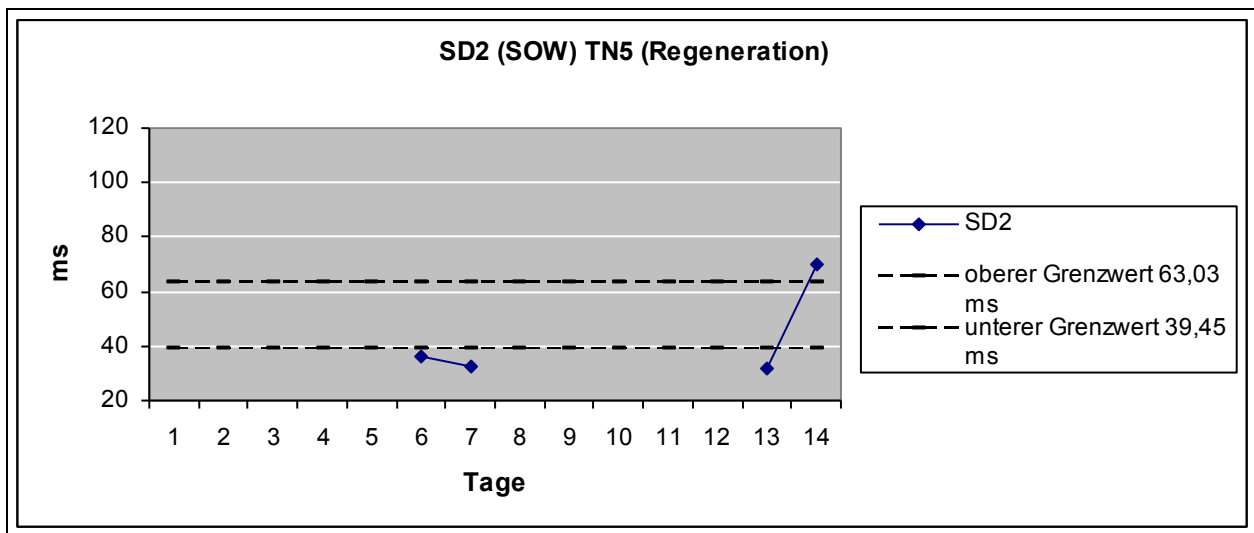


Abb. 182: Verlauf des SD2 während der Regenerationsphase bei TN5

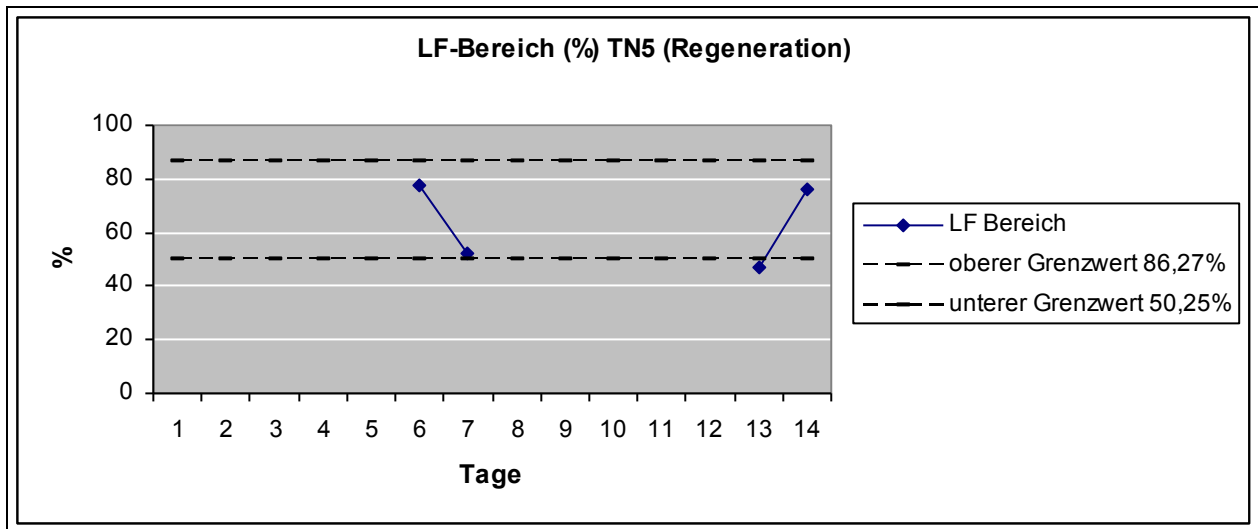


Abb. 183: Verlauf der Werte des LF-Bereichs (%) während der Regenerationsphase bei TN5

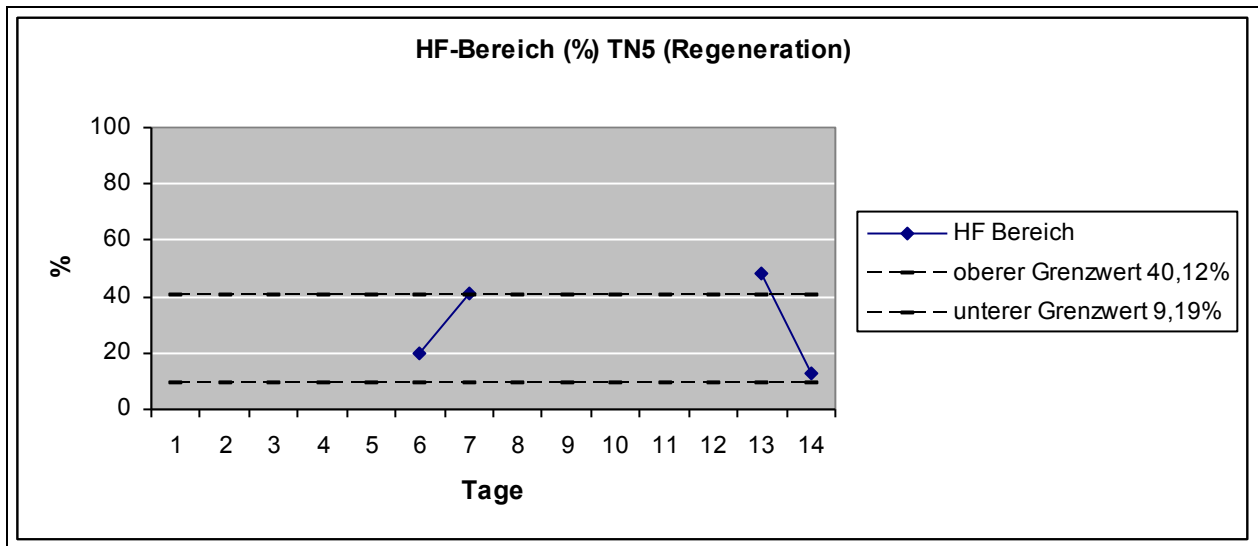


Abb. 184: Verlauf der Werte des HF-Bereichs (%) während der Regenerationsphase bei TN5

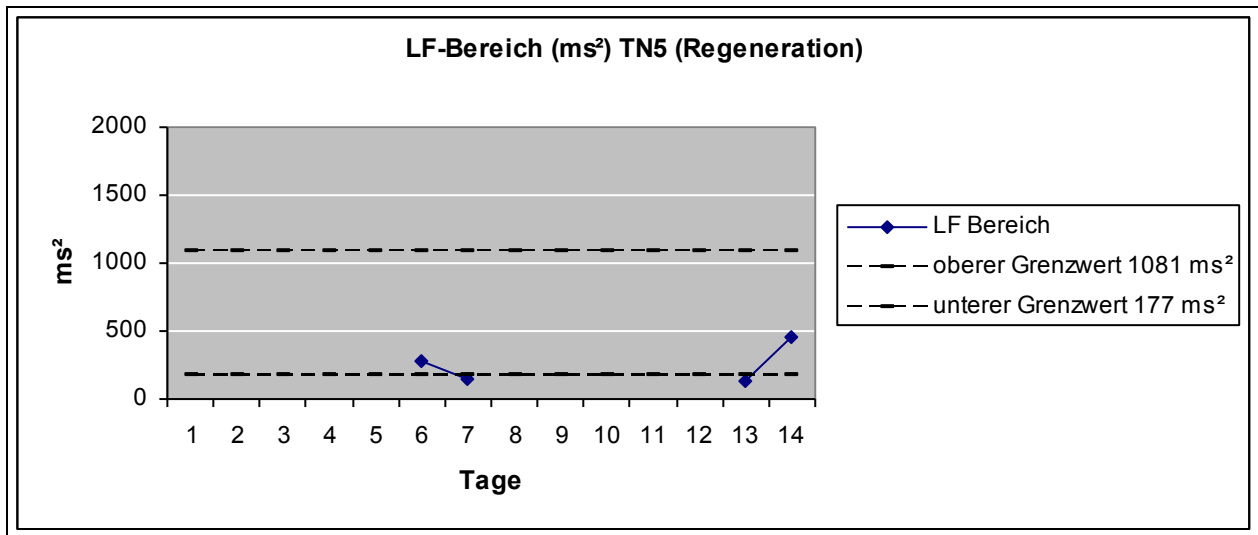


Abb. 185: Verlauf der Werte des LF-Bereichs ( $\text{ms}^2$ ) während der Regenerationsphase bei TN5

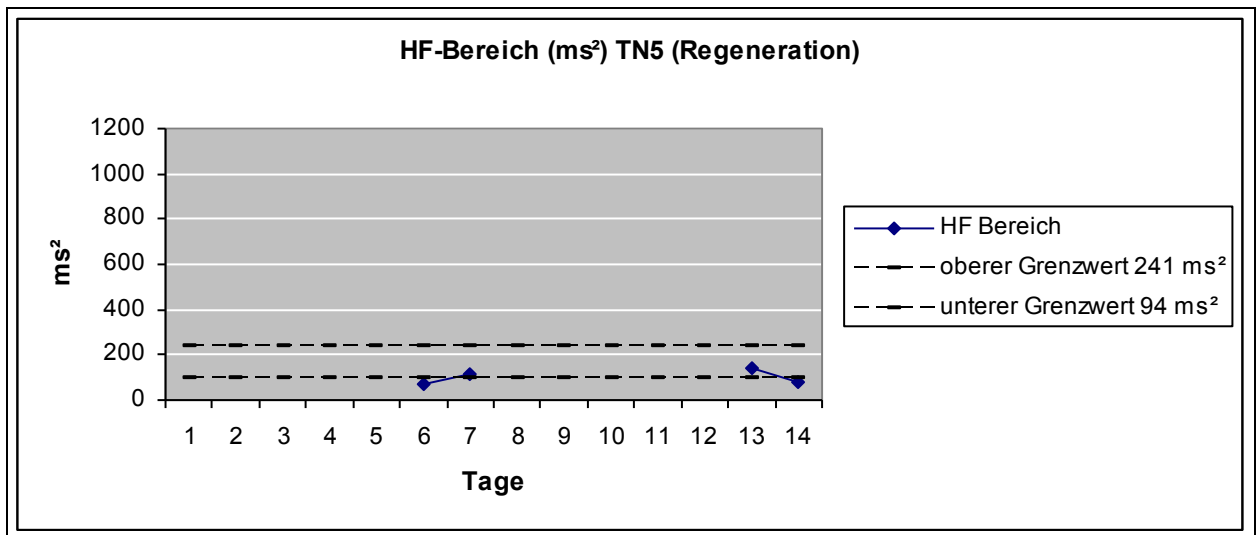


Abb. 186: Verlauf der Werte des HF-Bereichs ( $\text{ms}^2$ ) während der Regenerationsphase bei TN5

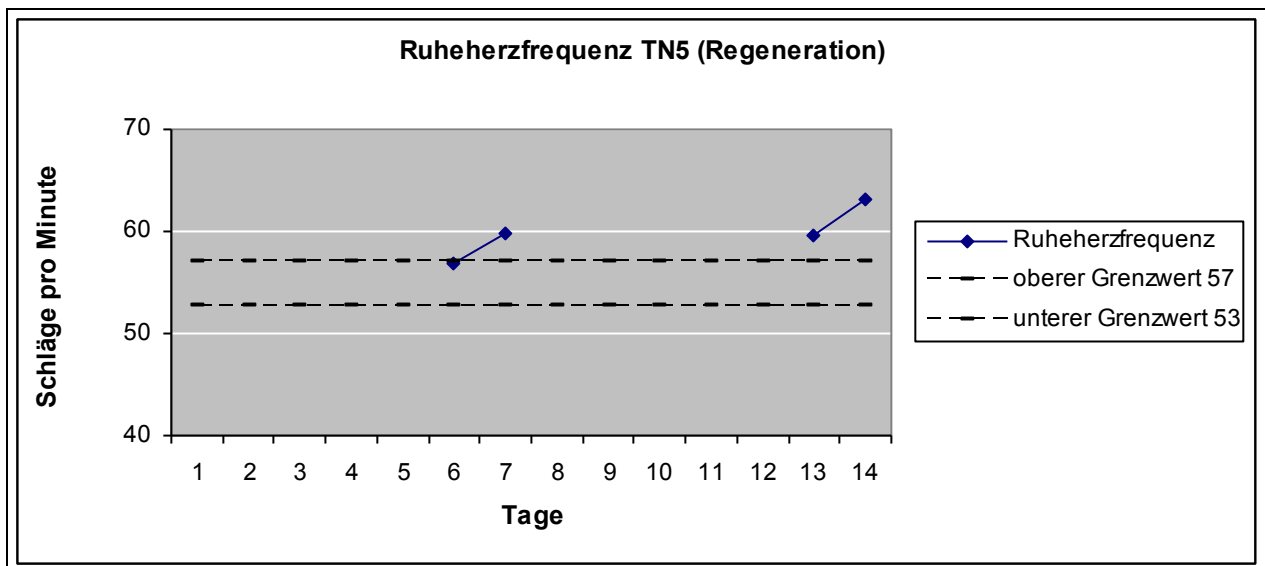


Abb. 187: Verlauf der Ruheherzfrequenz während der Regenerationsphase bei TN5

Tab. 50: Zusammenfassung der kardiologischen Messparameter während der Regenerationsphase bei TN5.

	Mittelwert	Standardabweichung	oberer Grenzwert	unterer Grenzwert	Maßeinheit
RRsd	19,34	3,61	33,91	22,59	ms
rMSSD	16,04	0,88	28,51	20,94	ms
SD1	11,48	0,55	20,40	15,00	ms
SD2	42,60	18,50	63,03	39,45	ms
HF (%)	30,34	16,96	40,12	9,19	%
LF (%)	63,27	15,91	86,27	50,25	%
HF (ms <sup>2</sup> )	100,07	32,99	241,21	94,41	ms <sup>2</sup>
LF (ms <sup>2</sup> )	254,91	151,38	1081,41	177,49	ms <sup>2</sup>
Ruheherzfrequenz	59,91	2,58	57,03	52,83	Schläge/Min.

Während der Regenerationsphase zeigen die Mittelwerte der Zeitbereichsparameter RRsd, rMSSD, SD1 und SD2 sowie die Spektralleistung im HF- und vor allem im LF-Bereich ein niedrigeres Niveau als während der Normwertbestimmung an, rMSSD sowie SD1 bewegen sich an sämtlichen Messtagen unterhalb des Normbereichs. Die Ruheherzfrequenz ist im Mittel um 5 Schläge pro Minute erhöht.

## 5.2.4.6 TN6

Die Ermittlung der Werte für die Parameter der Herzfrequenzvariabilität sowie der Ruheherzfrequenz erfolgte zwischen dem 1.7.08 und dem 25.7.08.

Insgesamt konnten alle 15 Messungen für die Erstellung der Normwertbereiche berücksichtigt werden. Die Darstellung der einzelnen Parameterverläufe und ermittelten Grenzwerte erfolgt anhand nachstehender Abbildungen.

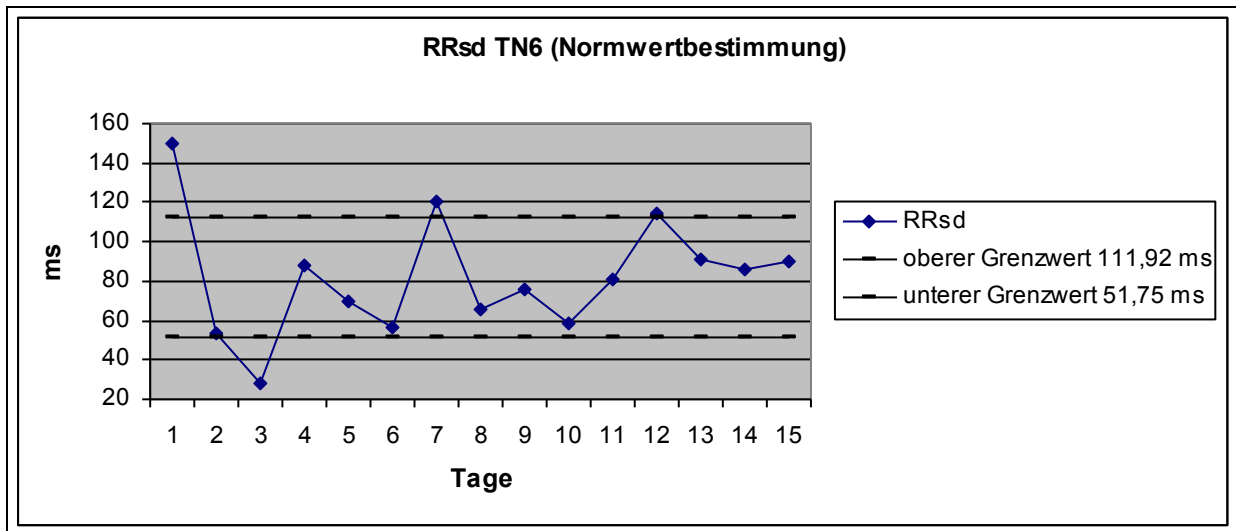


Abb. 188: Verlauf des RRsd während der Normwertbestimmung bei TN6

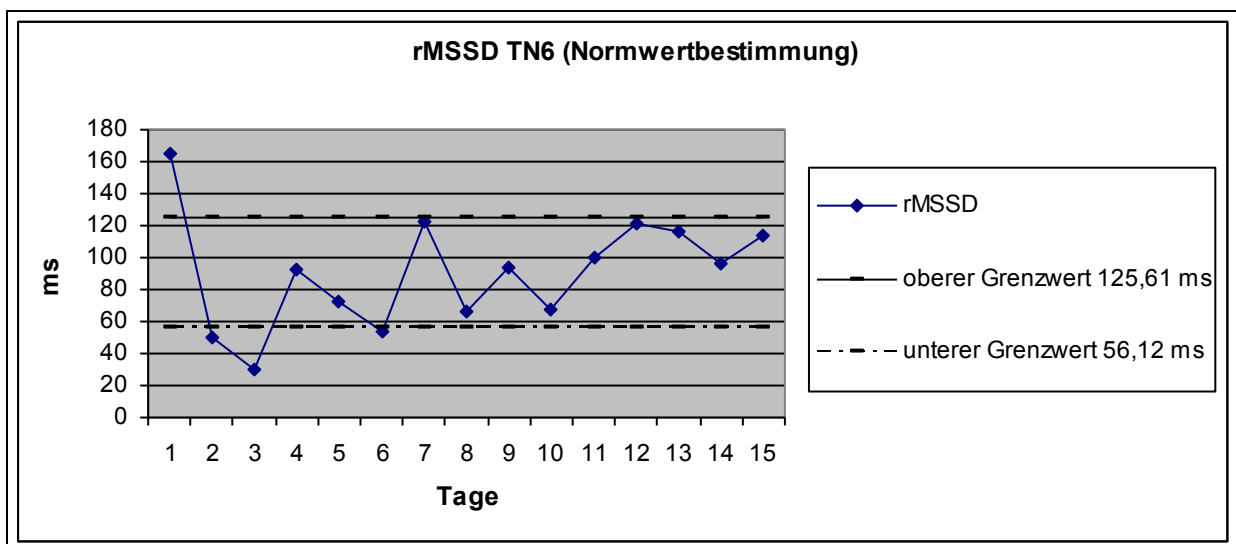


Abb. 189: Verlauf des rMSSD während der Normwertbestimmung bei TN6



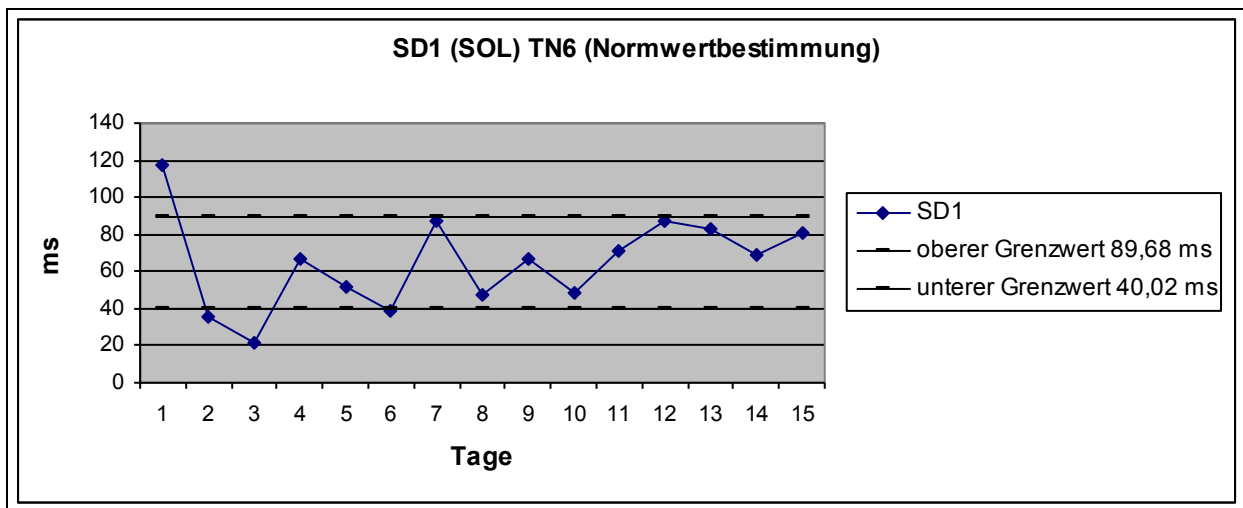


Abb. 190: Verlauf des SD1 während der Normwertbestimmung bei TN6

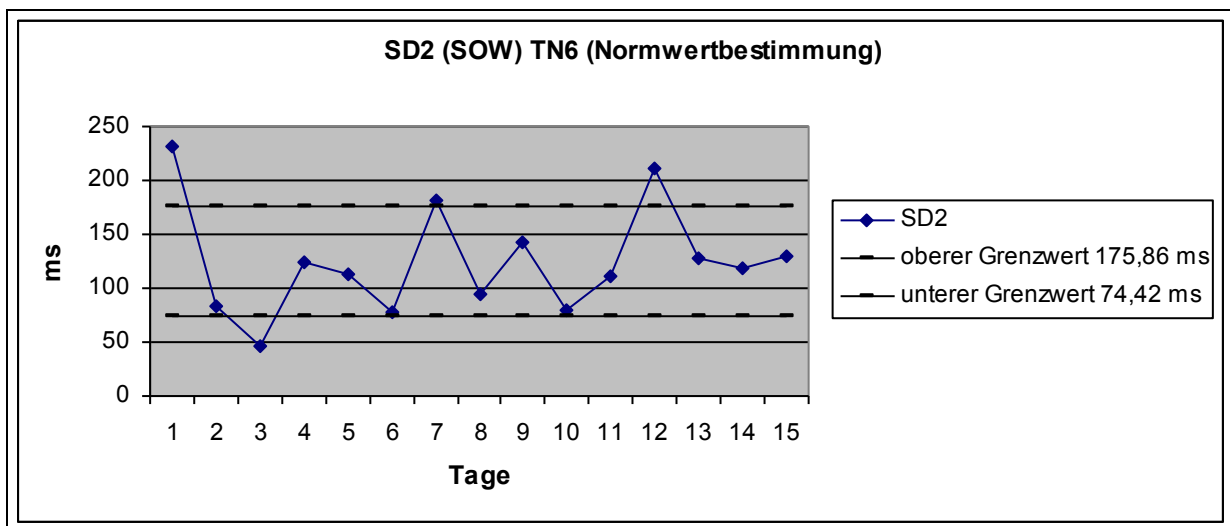


Abb. 191: Verlauf des SD2 während der Normwertbestimmung bei TN6

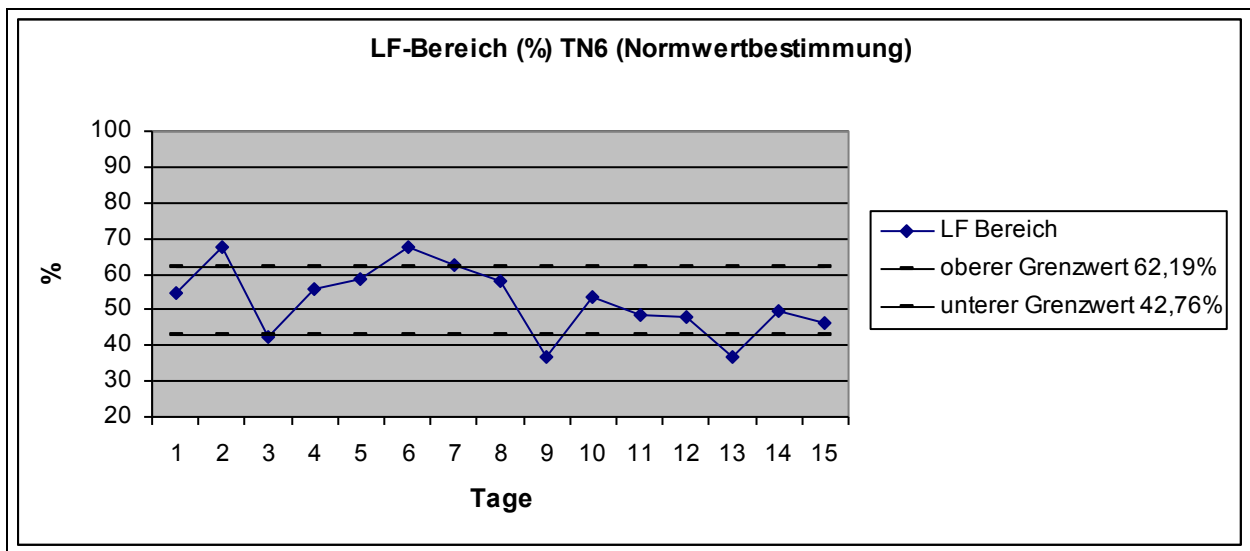


Abb. 192: Verlauf der Werte des LF-Bereichs (%) während der Normwertbestimmung bei TN6

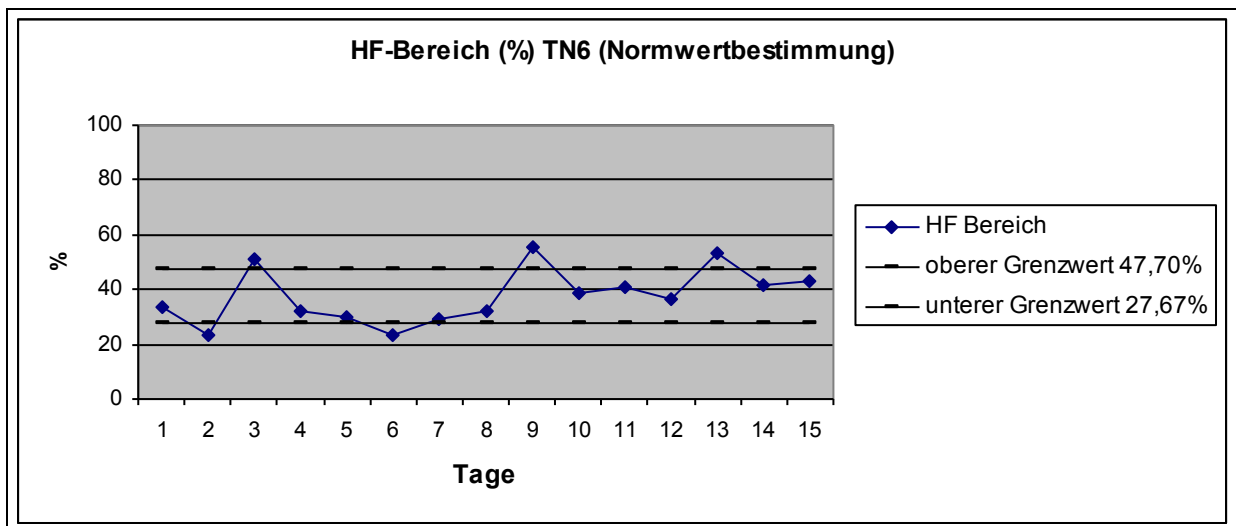


Abb. 193: Verlauf der Werte des HF-Bereichs (%) während der Normwertbestimmung bei TN6

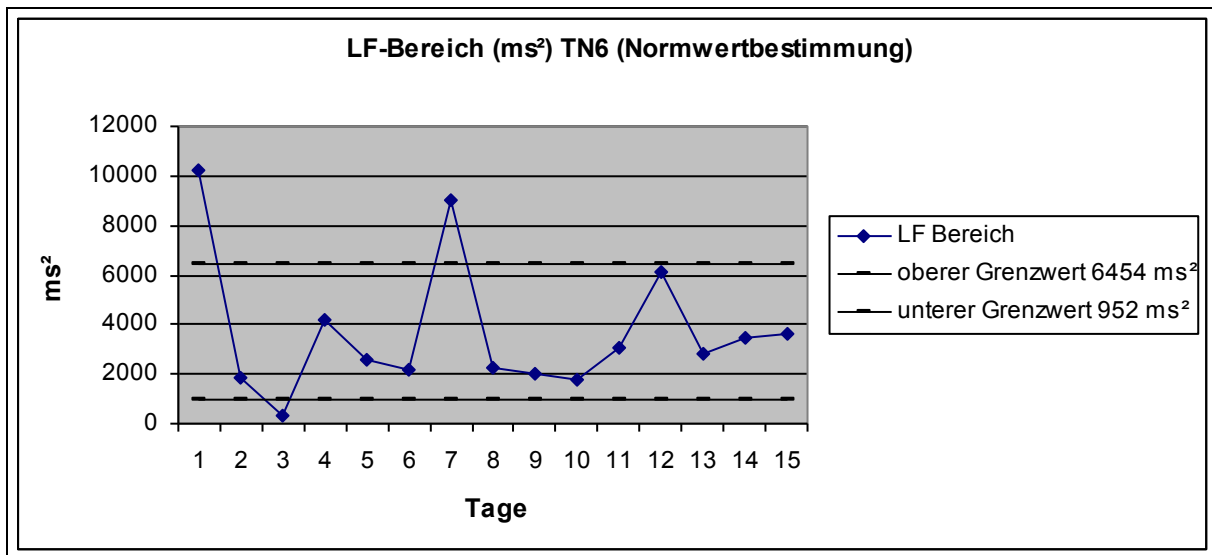


Abb. 194: Verlauf der Werte des LF-Bereichs ( $\text{ms}^2$ ) während der Normwertbestimmung bei TN6

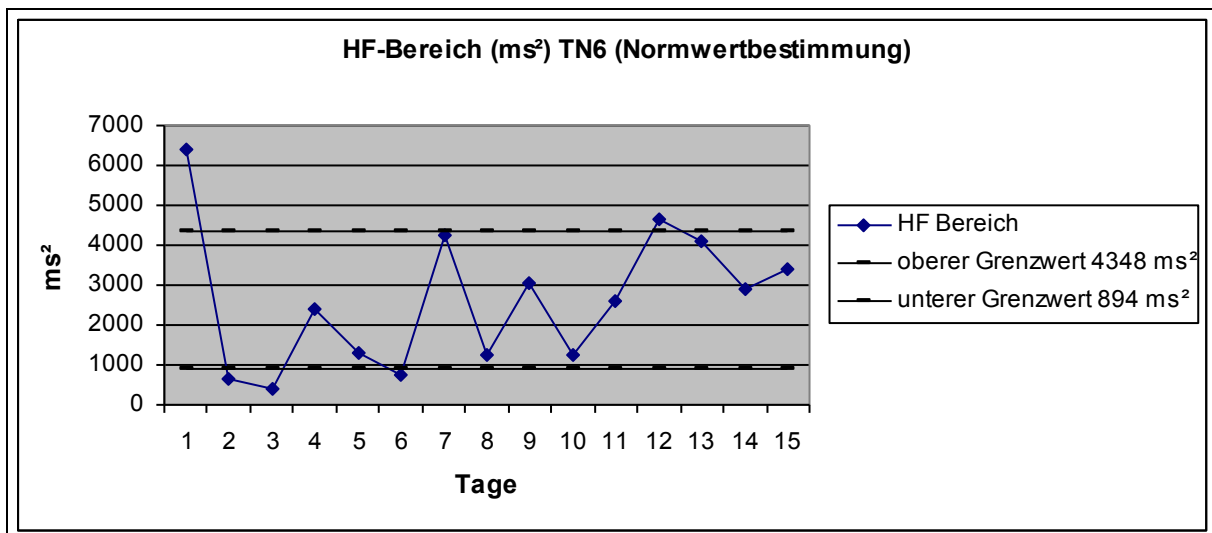


Abb. 195: Verlauf der Werte des HF-Bereichs ( $\text{ms}^2$ ) während der Normwertbestimmung bei TN6

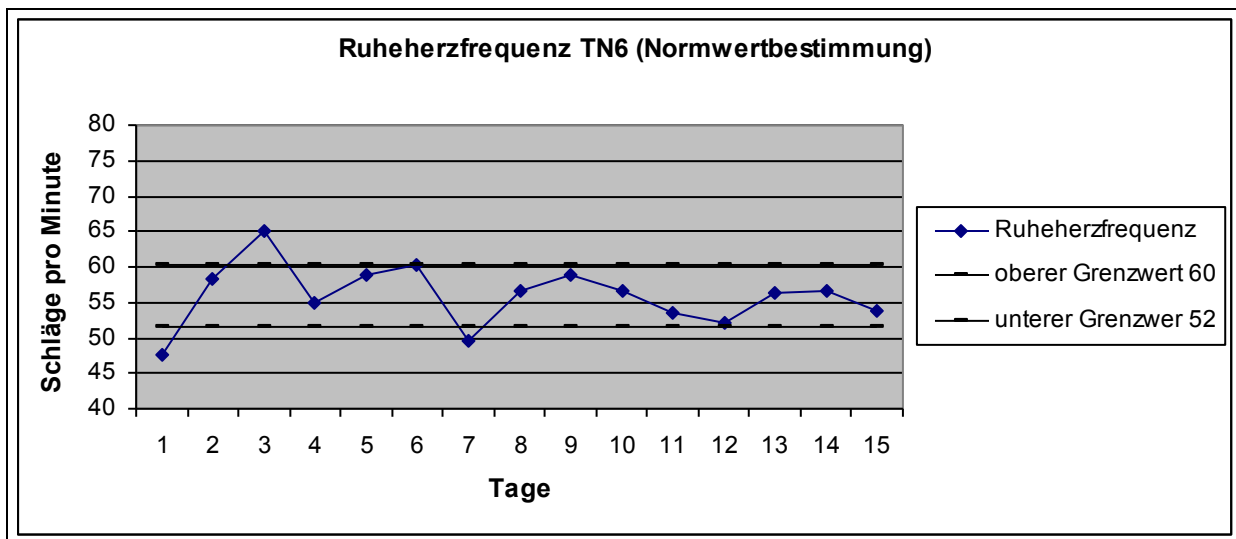


Abb. 196: Verlauf der Ruheherzfrequenz während der Normwertbestimmung bei TN6

Tab. 51: Zusammenfassung der kardiologischen Messparameter während der Normwertbestimmung bei TN6.

	Mittelwert	Standardabweichung	oberer Grenzwert	unterer Grenzwert	Maßeinheit
RRsd	81,83	30,08	111,92	51,75	ms
rMSSD	90,86	34,74	125,61	56,12	ms
SD1	64,85	24,83	89,68	40,02	ms
SD2	125,14	50,72	175,86	74,42	ms
HF (%)	37,68	10,02	47,70	27,67	%
LF (%)	52,48	9,71	62,19	42,76	%
HF (ms <sup>2</sup> )	2620,90	1726,78	4347,68	894,11	ms <sup>2</sup>
LF (ms <sup>2</sup> )	3702,93	2751,41	6454,34	951,53	ms <sup>2</sup>
Ruheherzfrequenz	55,94	4,32	60,26	51,62	Schläge/Min.

### Deutschlandlauf

Die Messungen der Herzfrequenzvariabilität und Ruheherzfrequenz wurden täglich vom 8.9.08 – 15.9.08, mit Ausnahme des 11.9.08, durchgeführt, sodass insgesamt sieben Messtage berücksichtigt werden konnten.

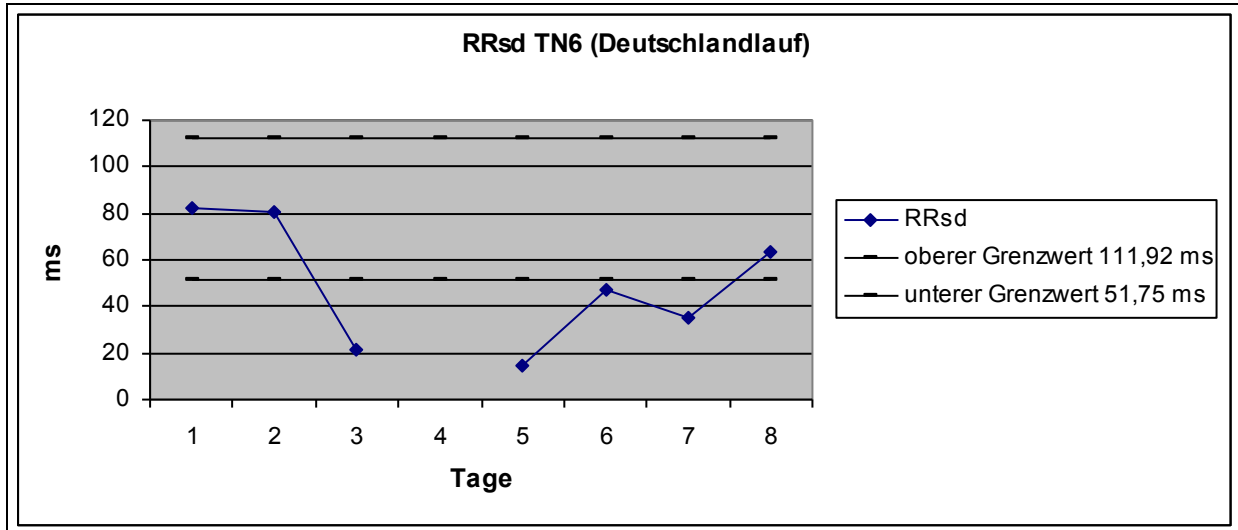


Abb. 197: Verlauf des RRsd während des Deutschlandlaufs bei TN6

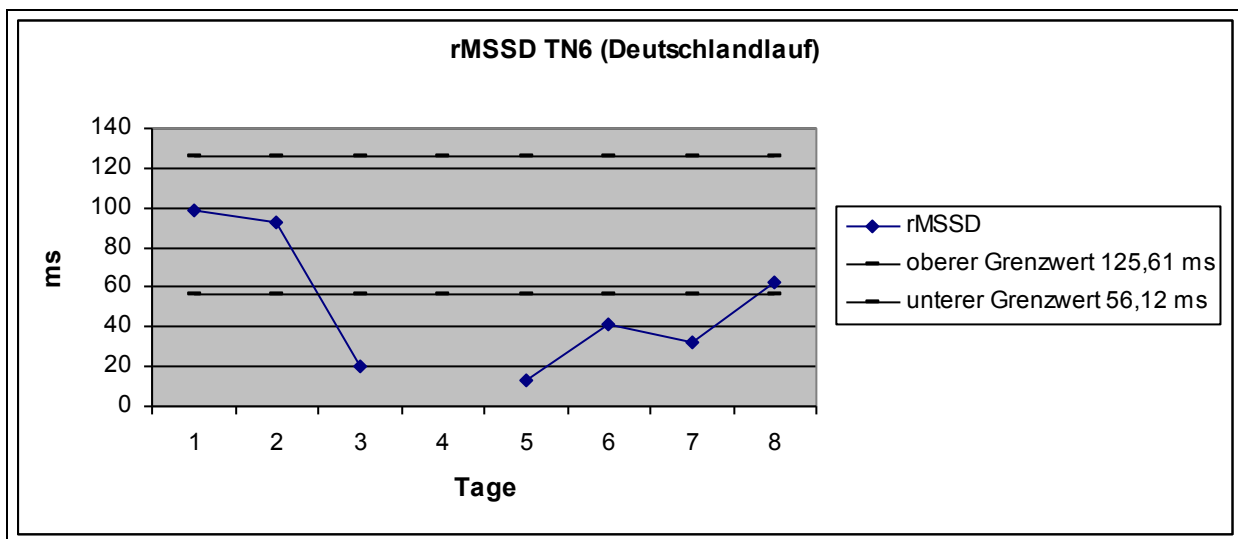


Abb. 198: Verlauf des rMSSD während des Deutschlandlaufs bei TN6

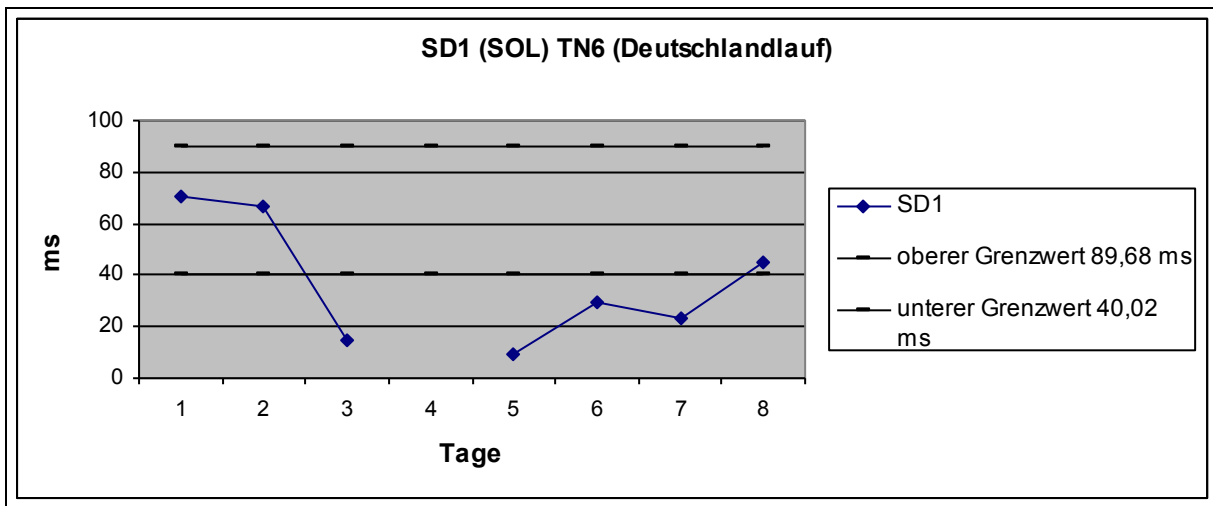


Abb. 199: Verlauf des SD1 während des Deutschlandlaufs bei TN6

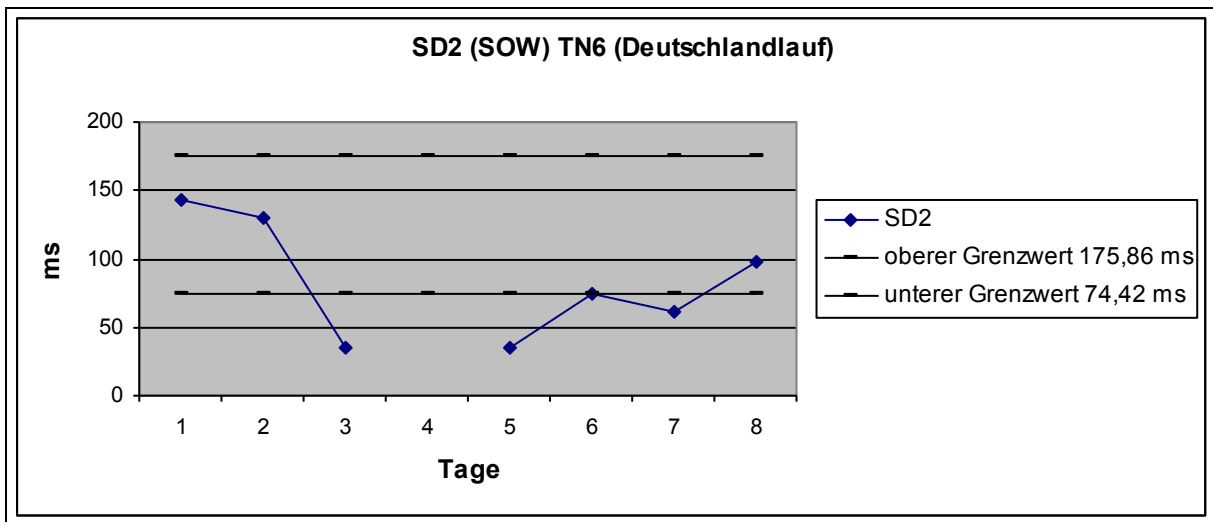


Abb. 200: Verlauf des SD1 während des Deutschlandlaufs bei TN6

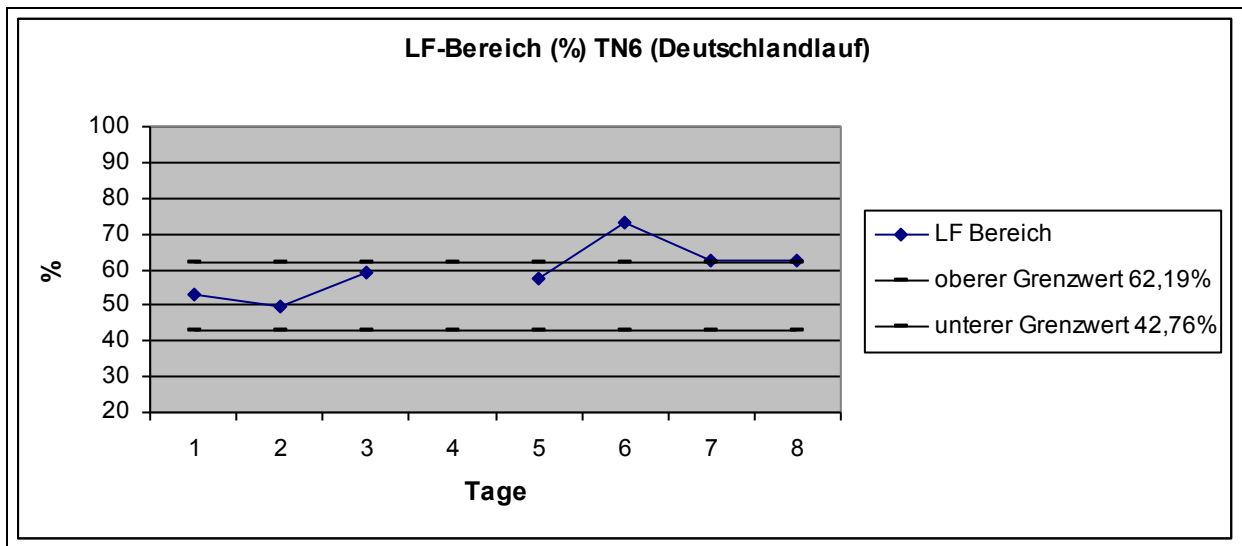


Abb. 201: Verlauf der Werte des LF-Bereichs (%) während des Deutschlandlaufs bei TN6

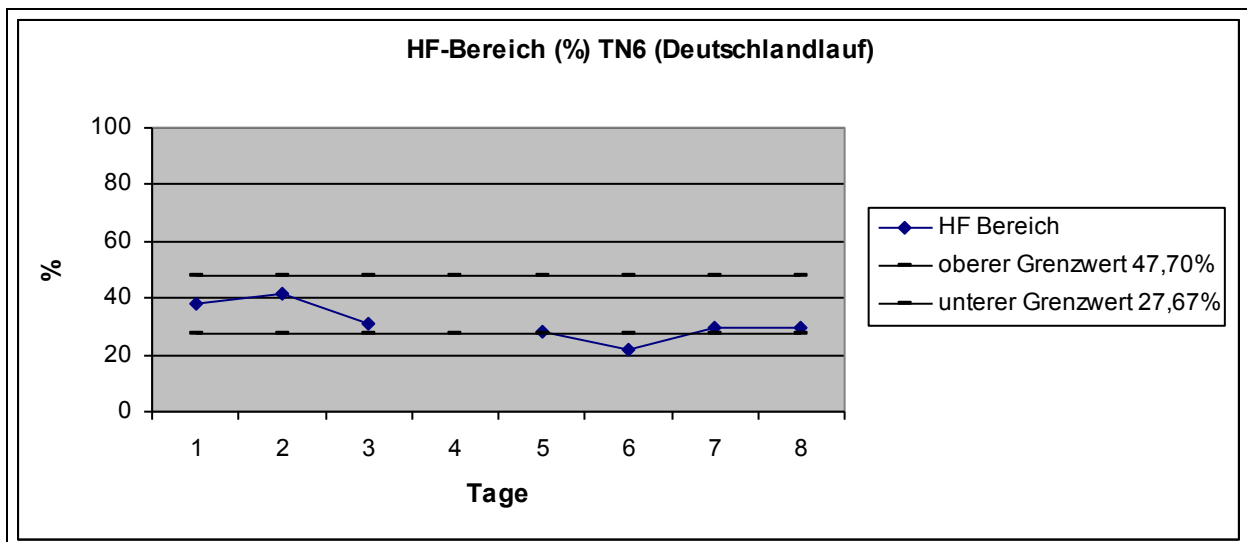


Abb. 202: Verlauf der Werte des HF-Bereichs (%) während des Deutschlandlaufs bei TN6

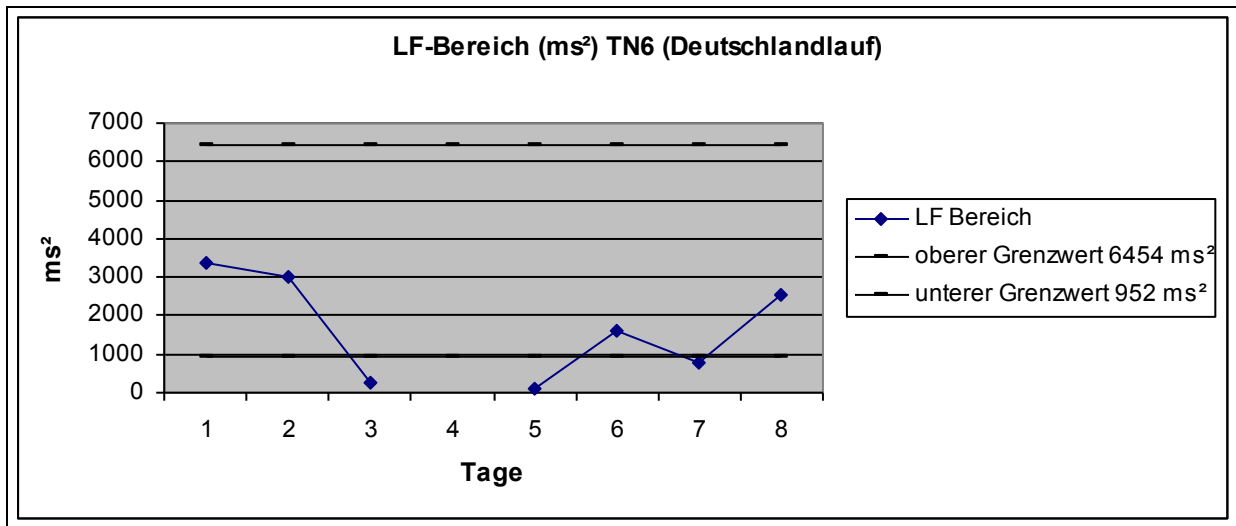


Abb. 203: Verlauf der Werte des LF-Bereichs ( $\text{ms}^2$ ) während des Deutschlandlaufs bei TN6

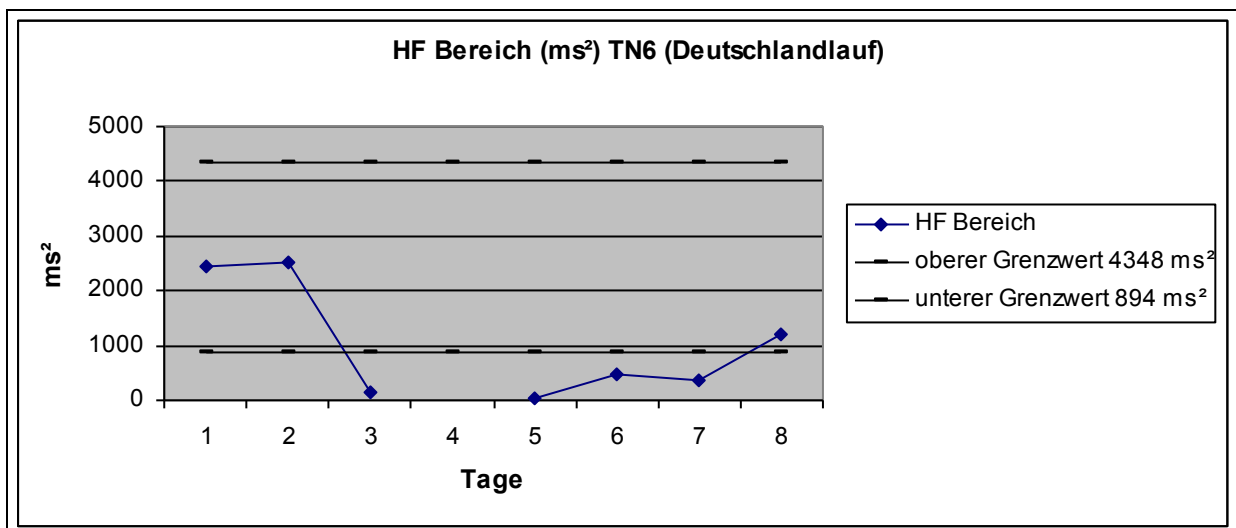


Abb. 204: Verlauf der Werte des HF-Bereichs während des Deutschlandlaufs bei TN6



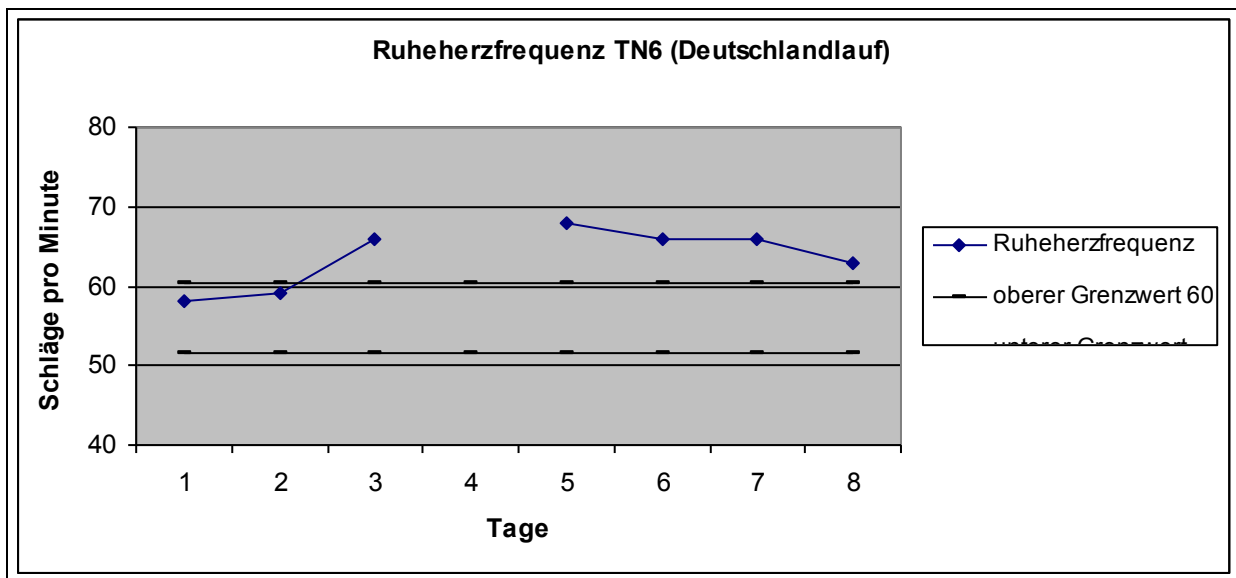


Abb. 205: Verlauf der Ruheherzfrequenz während des Deutschlandlaufs bei TN6

Tab. 52: Zusammenfassung der kardiologischen Messparameter während des Deutschlandlaufs bei TN6.

	Mittelwert	Standardabweichung	oberer Grenzwert	unterer Grenzwert	Maßeinheit
RRsd	49,00	27,25	111,91	51,75	ms
rMSSD	51,61	34,08	125,61	56,12	ms
SD1	36,83	24,28	89,68	40,02	ms
SD2	82,46	43,19	175,86	74,42	ms
HF (%)	31,31	6,63	47,70	27,67	%
LF (%)	59,71	7,56	62,19	42,76	%
HF (ms <sup>2</sup> )	1030,94	1059,06	4347,68	894,11	ms <sup>2</sup>
LF (ms <sup>2</sup> )	1679,19	1337,07	6454,34	951,53	ms <sup>2</sup>
Ruheherzfrequenz	63,62	3,74	60,26	51,62	Schläge/Min.

Die Mittelwerte der Zeitbereichsparameter RRsd, rMSSD, SD1 und SD2 sowie die Mittelwerte der Spektralleistung im HF- und im LF-Bereich bewegen sich während des Deutschlandlaufs auf einem deutlich niedrigeren Niveau als während der Normwertbestimmung. Gleichzeitig ist die Ruheherzfrequenz des Teilnehmers im Vergleich zur Normwertbestimmung im Mittel um 8 Schläge pro Minute erhöht.

Folgende kritische Ereignisse treten in Bezug auf die Parameter der Herzfrequenzvariabilität und die Ruheherzfrequenz bei TN6 während des Deutschlandlaufs auf:

- Die Werte der Parameter RRsd, rMSSD, SD1, SD2 sowie die Spektralleistung im HF-Bereich unterschreiten an den Wettkampftagen 3, 5, 6 und 7 den vordefinierten unteren Grenzwert.

- Der prozentuale LF-Anteil am Gesamtspektrum überschreitet den oberen Grenzwert vom 6. bis 8. Wettkampftag.
- Die Ruheherzfrequenz überschreitet den Normbereich vom 3.–8. Wettkampftag.

### Regeneration

Die Messungen der Herzfrequenzvariabilität und Ruheherzfrequenz wurden vom 16.9.08 – 30.9.08 durchgeführt, insgesamt wurden 15 Messtage berücksichtigt.

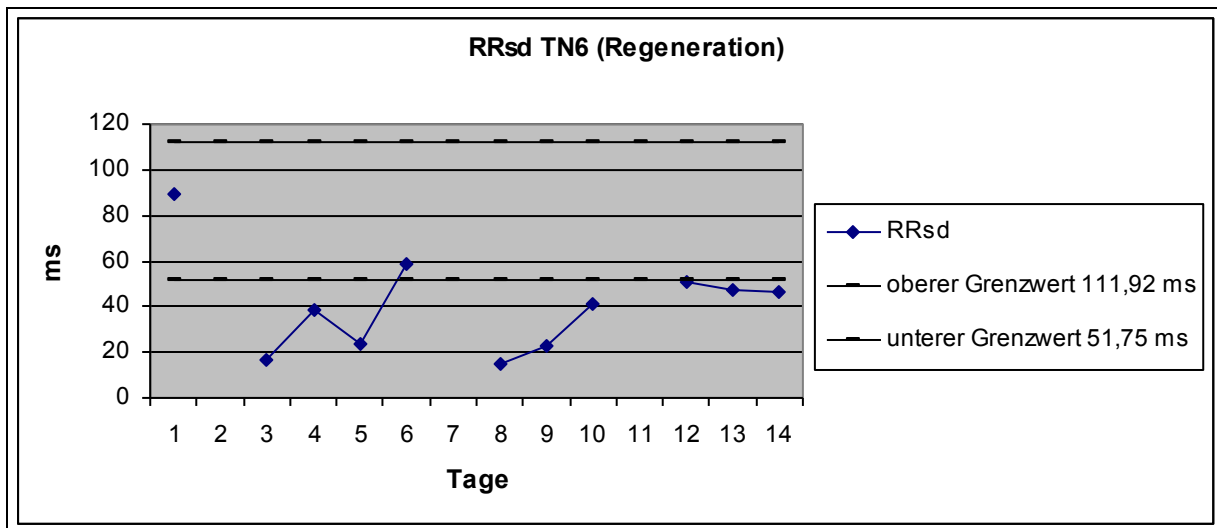


Abb. 206: Verlauf des RRsd während der Regenerationsphase bei TN6

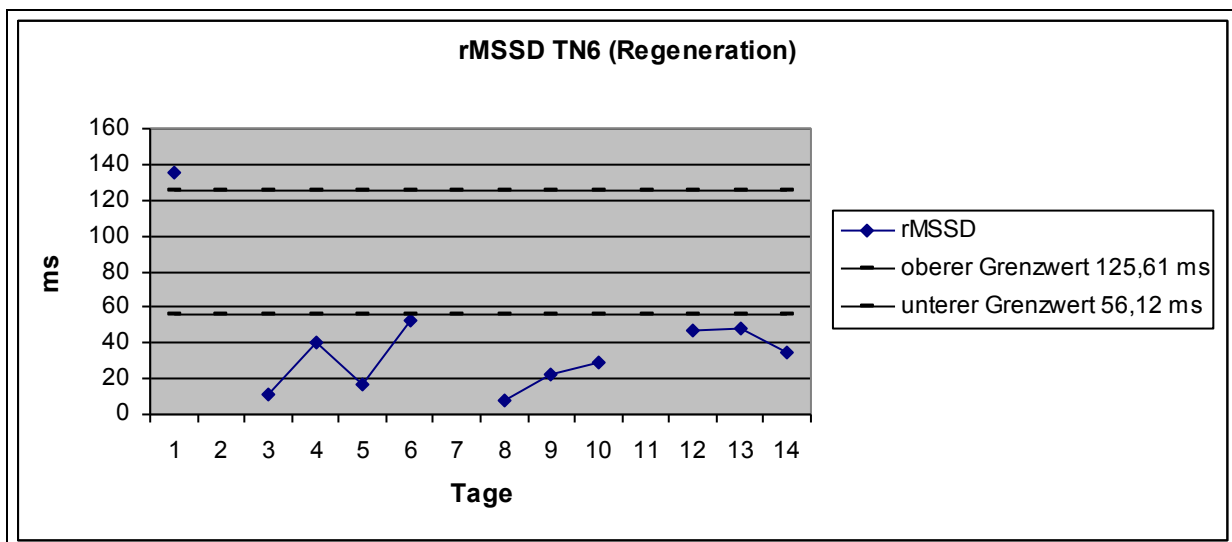


Abb. 207: Verlauf des rMSSD während der Regenerationsphase bei TN6

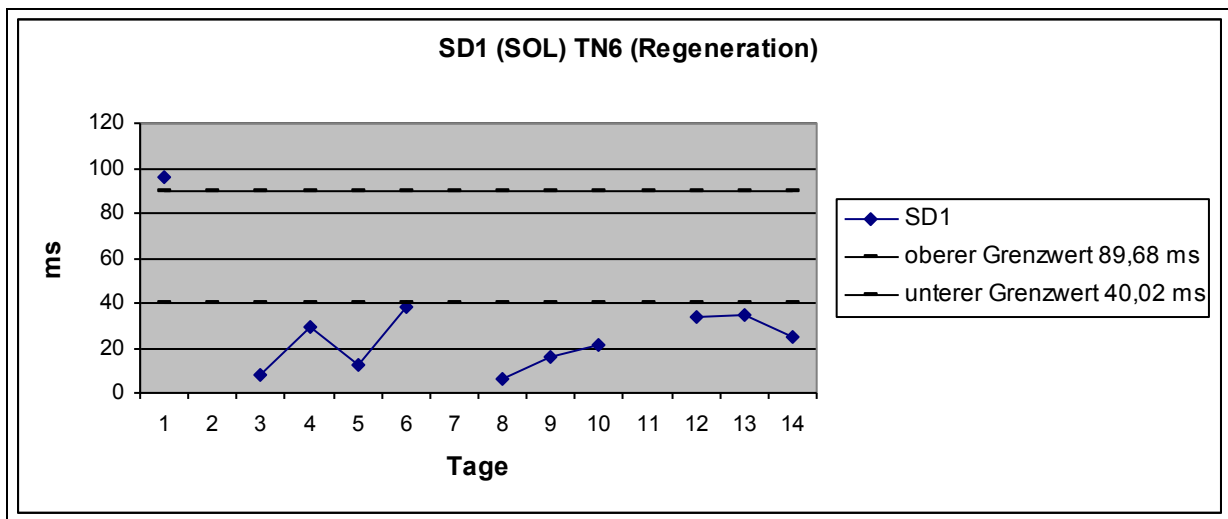


Abb. 208: Verlauf des SD1 während der Regenerationsphase bei TN6

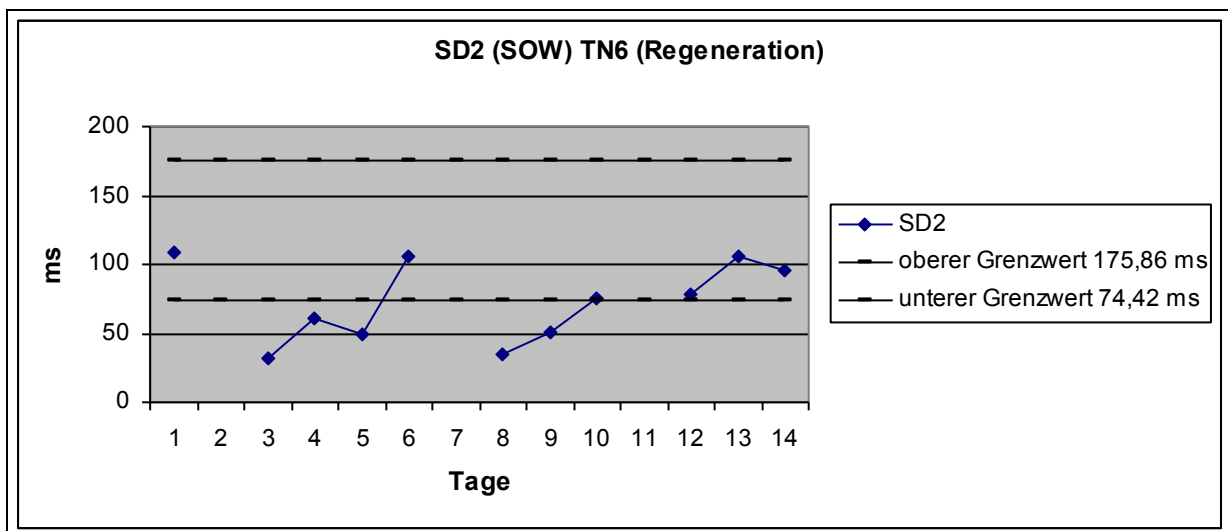


Abb. 209: Verlauf des SD2 während der Regenerationsphase bei TN6

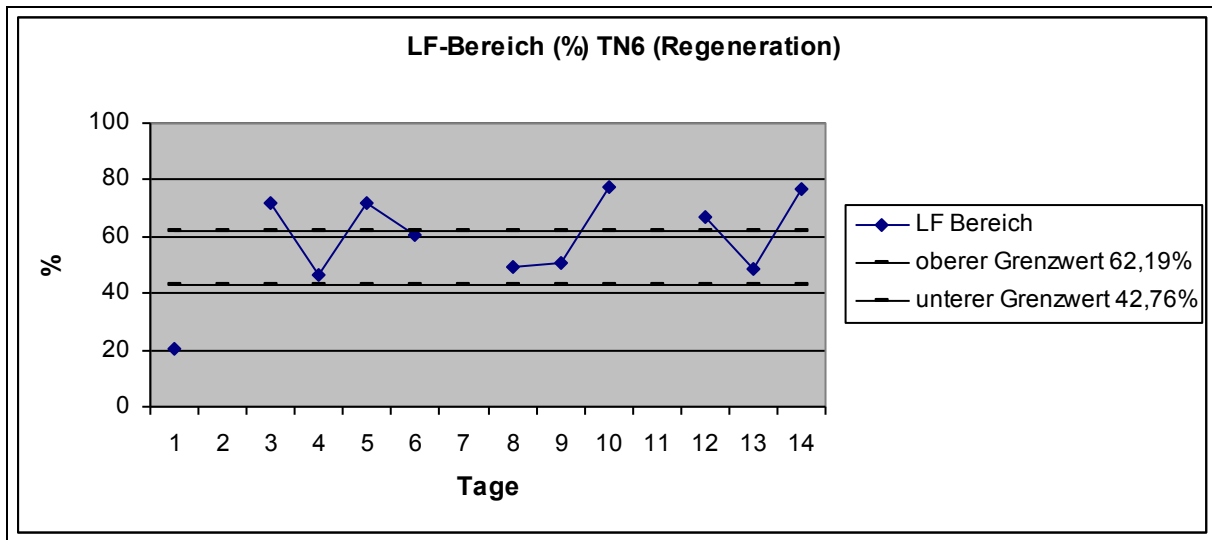


Abb. 210: Verlauf der Werte des LF-Bereichs (%) während der Regenerationsphase bei TN6

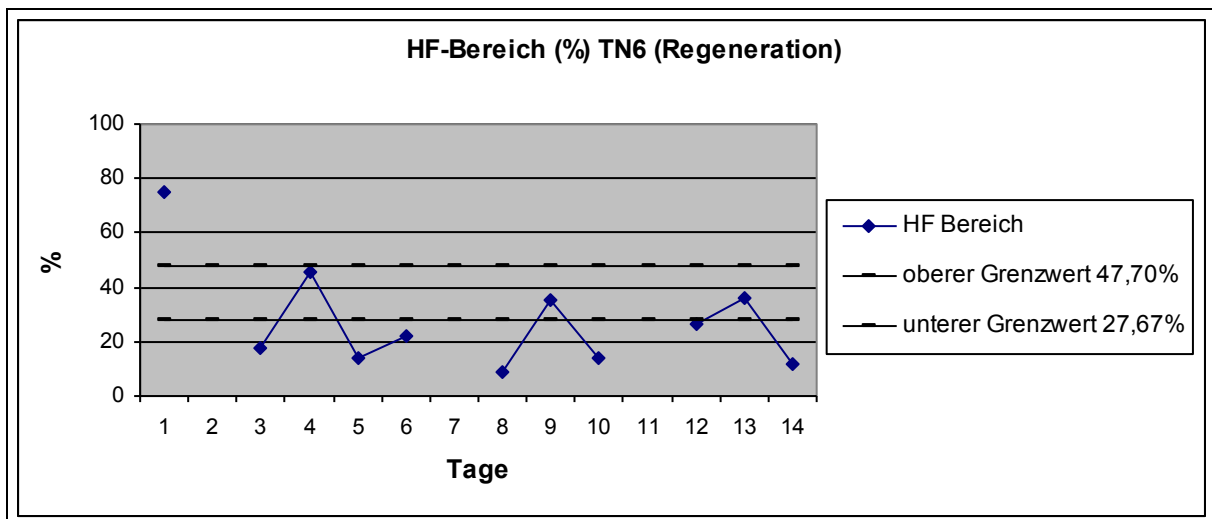


Abb. 211: Verlauf der Werte des HF-Bereichs (%) während der Regenerationsphase bei TN6

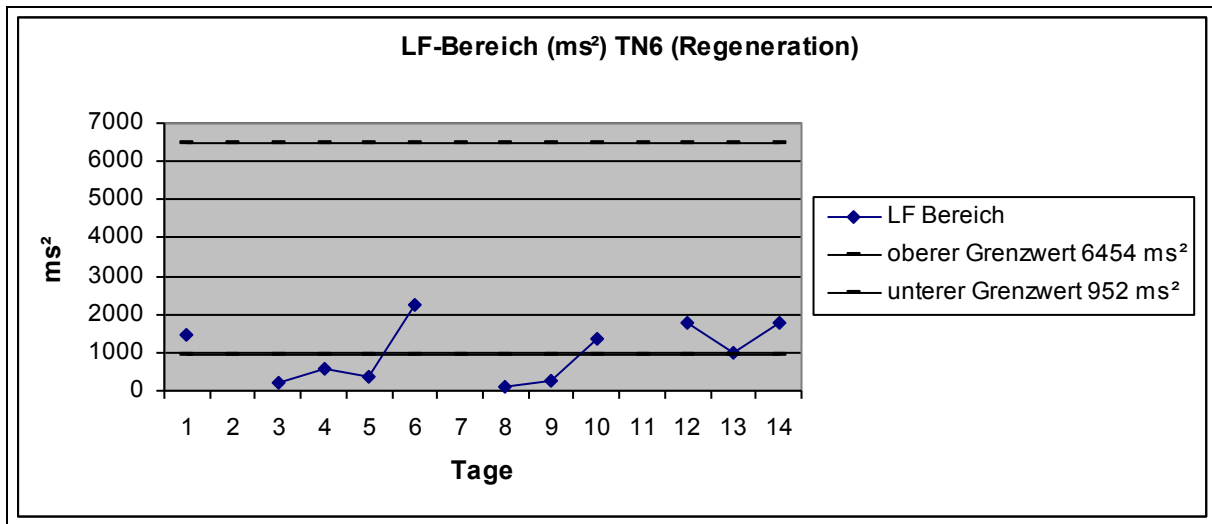


Abb. 212: Verlauf der Werte des LF-Bereichs ( $\text{ms}^2$ ) während der Regenerationsphase bei TN6

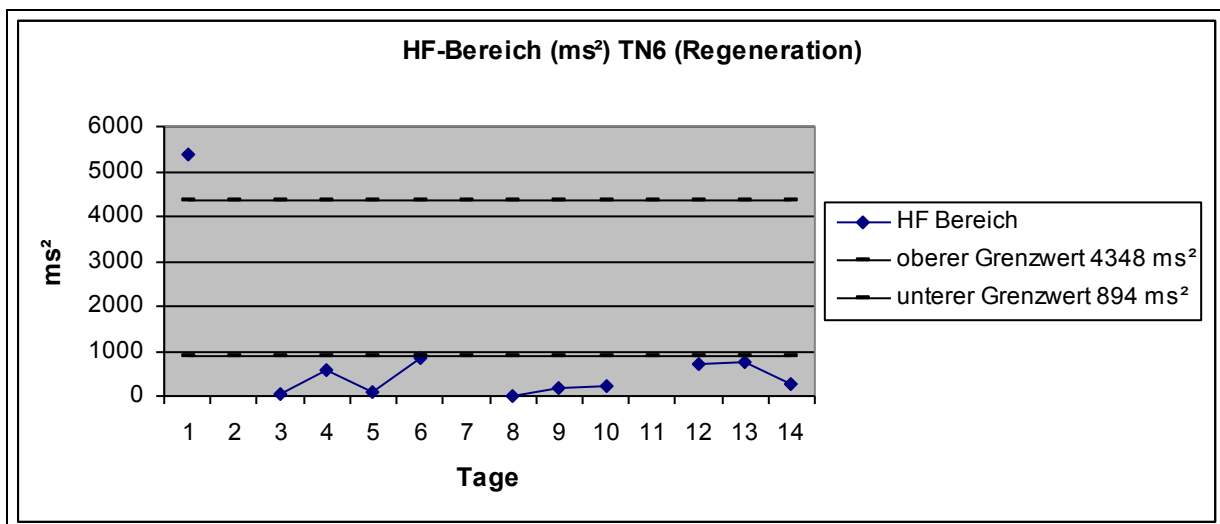


Abb. 213: Verlauf der Werte des HF-Bereichs ( $\text{ms}^2$ ) während der Regenerationsphase bei TN6

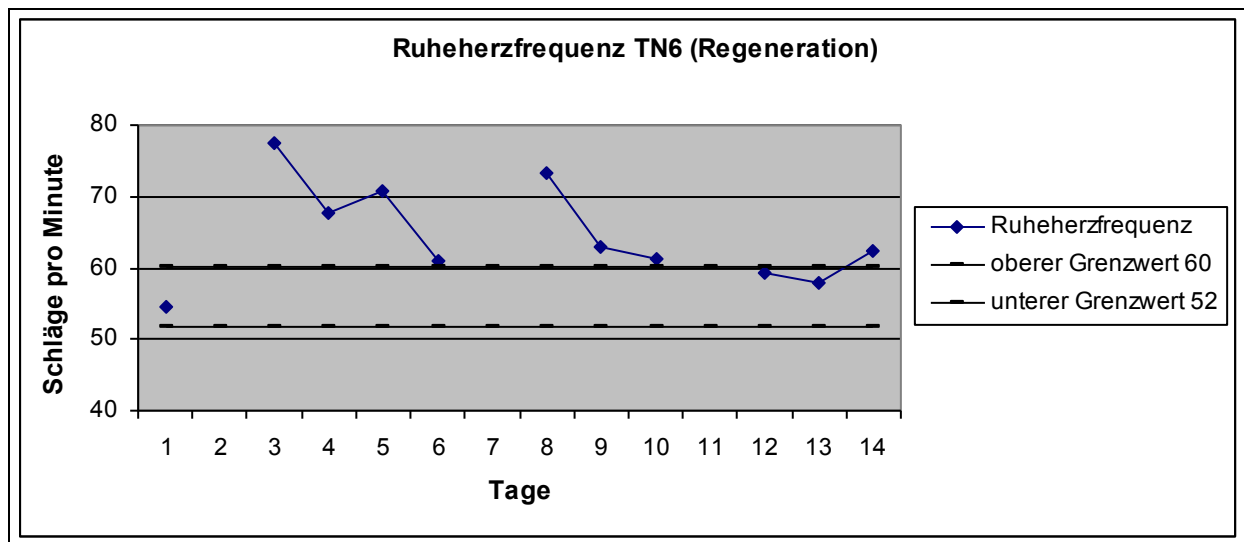


Abb. 214: Verlauf der Ruheherzfrequenz während der Regenerationsphase bei TN6

Tab. 53: Zusammenfassung der kardiologischen Messparameter während der Regenerationsphase bei TN6.

	Mittelwert	Standardabweichung	oberer Grenzwert	unterer Grenzwert	Maßeinheit
RRsd	41,02	21,83	111,91	51,75	ms
rMSSD	40,62	34,92	125,61	56,12	ms
SD1	29,11	24,79	89,68	40,02	ms
SD2	72,44	28,61	175,86	74,42	ms
HF (%)	27,86	19,53	47,70	27,67	%
LF (%)	58,29	17,29	62,19	42,76	%
HF (ms <sup>2</sup> )	824,93	168,61	4347,68	894,11	ms <sup>2</sup>
LF (ms <sup>2</sup> )	1015,14	757,18	6454,34	951,53	ms <sup>2</sup>
Ruheherzfrequenz	64,41	7,00	60,26	51,62	Schläge/Min.

Ebenso wie während des Deutschlandlaufs zeigen sich die Parameter der Herzfrequenzvariabilität und die Ruheherzfrequenz bei TN6 während der Regenerationsphase im Vergleich zur Normwertbestimmung deutlich verändert.

Die Mittelwerte der Zeitbereichsparameter RRsd, rMSSD, SD1, SD2 sind ebenso wie die Spektralleistung im LF- und HF-Bereich noch deutlicher als während des Deutschlandlaufs erniedrigt, gleichzeitig ist die mittlere Ruheherzfrequenz im Vergleich zur Normwertbestimmung um 8 Schläge pro Minute erhöht.

Es treten während der Regenerationsphase bei TN6 folgende weitere kritische Ereignisse auf:

- Die Werte des Parameters RRsd unterschreiten den Normbereich vom 3. bis 5., 8. bis 10. sowie vom 12. bis 14. Regenerationstag.

- Die Werte der Parameter rMSSD, SD1 sowie die Spektralleistung im HF-Bereich unterschreiten den Normbereich vom 3. bis 6., 8. bis 10. sowie vom 12. bis 14. Regenerationstag.
- Die Werte des Parameters SD2 sowie die Spektralleistung im LF-Bereich unterschreiten den Normbereich vom 3. bis 5. Regenerationstag.
- Die Ruheherzfrequenz überschreitet den Normbereich vom 3. bis 6. und 8. bis 10. Regenerationstag.

#### 5.2.4.7 Zusammenfassung und Diskussion

##### TN1

Zu Beginn der Wettkampfphase ist anhand der Parameter der Herzfrequenzvariabilität und der Ruheherzfrequenz eine Verschiebung des sympathovagalen Gleichgewichts in Richtung eines verstärkten Einflusses des Sympathikus zu erkennen. Die Verringerung hochfrequenter Fluktuationen der Herzfrequenzvariabilität wird angezeigt durch einen reduzierten prozentualen HF-Anteil am Gesamtsignal. Vom zweiten bis fünften Wettkampftag unterschreiten diese Werte den vordefinierten Normbereich (kritisches Ereignis).

Der gemischt sympathisch und vagal modulierte prozentuale LF-Anteil am Gesamtspektrum dagegen überschreitet vom ersten bis fünften Wettkampftag den Normbereich, auch die Ruheherzfrequenz ist vom ersten bis fünften Wettkampftag deutlich erhöht und erreicht am zweiten Wettkampftag mit 56 Schlägen pro Minute den Höchstwert während des Deutschlandlaufs.

Die Zeitbereichsparameter RRsd, rMSSD und SD1 sowie die absolute Spektralleistung im HF-Frequenzband zeigen eine deutlich verringerte vagale Einflussnahme am zweiten Wettkampftag an, es treten jedoch keine mehrtägigen Über- oder Unterschreitungen der vordefinierten Grenzbereiche dieser Parameter zu Wettkampfbeginn auf. Ab dem dritten Wettkampftag ist anhand tendenziell ansteigender Werte für diese Parameter eine zunehmende vagale Steuerung ersichtlich.

Denkbar und auch wahrscheinlich ist eine erhöhte Anfangsnervosität des Teilnehmers während der ersten Wettkampftage, die die genannten Parameterveränderungen erklären könnte.

Gegen Mitte des Deutschlandlaufs (7. bis 11. Wettkampftag) zeigt sich eine deutliche Steigerung der Herzfrequenzvariabilität. Die vagal modulierten Parameter rMSSD und SD1 sowie die gemischt sympathisch-parasympathisch modulierten Parameter RRsd und SD2 bewegen sich vom siebten bis neunten Wettkampftag oberhalb des Normbereichs, die Spektralleistung im HF-Frequenzband sowie die Spektralleistung im LF-Frequenzband vom siebten bis elften Wettkampftag. Erkennbar ist somit eine erhöhte kardiovagale Aktivität während dieser Wettkampfphase, die eine ausreichende Regenerationsfähigkeit und gute Belastungstoleranz des Teilnehmers anzeigt.

Belastungsreize von ca. 7,6 Stunden täglich lassen zunächst eine längerfristige Beeinträchtigung der Funktionssysteme und damit der Herzfrequenzvariabilität erwarten. Horn (2003) beschreibt ein zweiphasiges Auslenkungsverhalten der autonomen Tonuslage nach erschöpfenden Ausdauerbelastungen. Nach einer zunächst eintretenden „Störung der autonomen Balance mit quantitativer Dominanz der sympathischen Aktivität“ kommt es in der Folge zu einer autonomen Gegenregulation mit einer Regeneration der vagalen Aktivität (Horn, ebenda, S. 248; vgl. Arvay & Hofmann, 2001). Tatsächlich jedoch erholt sich die Herzfrequenzvariabilität des Sportlers vom siebten bis

neunten Wettkampftag nicht nur, sondern zeigt Werte, die oberhalb des Normbereichs liegen. Die ausgelenkten Systeme schwingen über Nacht in ihren Ausgangszustand zurück und teilweise darüber hinaus. Die Herzfrequenzvariabilität zeigt somit ein für den Sportler positives Erholungs-Belastungs-Verhältnis an. Die Vermutung von Arvay und Hofmann (2001), unerwartete Anpassungen der Herzfrequenzvariabilität wie bei TN1 mit einer aufgrund hoher Ausdauerbelastungen vorübergehenden Erschöpfung des sympathoadrenergen Antriebes (vgl. Lehmann et al., 1989; Lehmann et al., 1990) zu erklären, erscheint in diesem Fall unzulässig. Ein solcher Zustand ließe sich möglicherweise mittels reduzierter Spektralleistung im LF-Frequenzband und reduzierter gemischt parasympathisch-sympathisch modulierter Parameter erklären. Bei TN1 jedoch lässt die Spektralleistung im HF-Frequenzband klare Rückschlüsse auf eine erhöhte vagale Gesamtaktivität zu. Eine Erschöpfung der sympathischen Aktivität ist anhand der weiteren Parameterverläufe nicht auszumachen. Im vorliegenden Fall scheint der Sportler einzig von seiner ausgezeichneten Grundlagenausdauer und Regenerationsfähigkeit zu profitieren.

Ähnliche Ergebnisse konnten Atlaoui et al. (2007) und Earnest et al. (2004) bei Leistungsschwimmern während vier Wochen intensivierten Trainings sowie bei Radsportlern während der Spanienrundfahrt 2001 dokumentieren. Auch hier kam es zu keinen Verminderungen der Herzfrequenzvariabilität bei jeweils zwei Messungen während der Wettkampf- bzw. Trainingsphase im Vergleich zu Normwerten.

Die auf die prozentualen Anteile am Gesamtspektrum bezogenen Werte des HF- und LF-Frequenzbandes erscheinen für die in dieser Form durchgeführte Normbereichsfestlegung bei diesem Teilnehmer in isolierter Form leider nicht aussagekräftig genug. So zeigt der prozentuale Anteil am Gesamtsignal zu Beginn des Deutschlandlaufs eine fünftägige Unterschreitung des Normbereichs an, während die Spektralleistung im HF-Frequenzband bereits am vierten Wettkampftag Werte oberhalb des Normbereichs anzeigt. Hier scheint es gerechtfertigt, zur Beurteilung der vegetativen Balance vor allem die Gesamtspektralleistung heranzuziehen.

Die Ruheherzfrequenz des Sportlers ist vor allem zu Beginn (kritisches Ereignis) und gegen Ende des Deutschlandlaufs erhöht. Möglich erscheint eine erhöhte Nervosität des Teilnehmers zu Wettkampfbeginn, die er im weiteren Etappenverlauf ablegt. Gegen Ende des Laufs könnten die tendenziell erhöhte Ruheherzfrequenz sowie die tendenziell wieder leicht abfallende Herzfrequenzvariabilität Hinweise auf eine eingeschränkte Regenerationsfähigkeit sein (vgl. Hottenrott et al., 2006).

In der an den Deutschlandlauf anschließenden Regenerationsphase kommt es trotz Trainingspause und einem Kurzurlaub zu einem starken und die gesamte Messphase andauernden, signifikanten Abfall der Herzfrequenzvariabilität, welcher eine autonome Dysbalance anzeigt. Die Vagusaktivität sinkt deutlich ab, während die Sympathikusaktivität dominiert – der Körper befindet sich in einer ergotropen Funktionslage, die auch als Ursache für die erhöhte maximale Herzfrequenz des Teilnehmers beim letzten Leistungstest möglich erscheint.

Die Verschiebung der vegetativen Balance in Richtung eines erhöhten Einflusses des Sympathikus zeigt sich vor allem durch deutlich reduzierte Werte der vagal modulierten Zeitbereichsparameter rMSSD und SD1 sowie der Gesamtleistung im hochfrequenten HF-Band, aber auch anhand deutlich reduzierter Werte der vagal und sympathisch modulierten Zeitbereichsparameter RRsd und SD2 sowie der Gesamtleistung im niedrigfrequenten LF-Band.



Es ist somit von einem starken Absinken der parasympathischen Aktivität und damit verbunden von einer anhaltenden Einschränkung der Regenerationsfähigkeit des Teilnehmers während fast der gesamten Messphase auszugehen. Dies könnte auf eine zu hohe Belastung während des Deutschlandlaufs hinweisen. Gegen Ende der letzten Messphase zeigen die Parameter der Herzfrequenzvariabilität wieder eine leicht ansteigende Tendenz.

Die beschriebene autonome Reaktionslage drückt sich auch in den als kritisch zu bezeichnenden Veränderungen der Ruheherzfrequenz aus, die die vordefinierte Obergrenze von 46 Schlägen pro Minute während der Regenerationsphase dauerhaft und deutlich überschreitet (2. bis 18. sowie 20. bis 21. Regenerationstag). Es treten maximale Werte von 62 (9. Tag) und 63 (10. Tag) Schlägen pro Minute auf, ohne dass ein Infekt oder eine Erkrankung als ursächliche Erklärung in Betracht gezogen werden kann. Zum Zeitpunkt der maximalen Ruheherzfrequenzwerte lag eine Trainingspause vor, der Teilnehmer befand sich in einem Kurzurlaub in der näheren Umgebung seines Wohnortes. Die Ruheherzfrequenz bleibt über nahezu die gesamte Regenerationsphase deutlich erhöht. Sie liegt während der dritten Messphase im Mittel um 10 Schläge pro Minute höher als während der Normwertbestimmung. Ein solcher Anstieg der Ruheherzfrequenz zeigt nach Dressendorfer et al. (1985), dass der gewählte Belastungsumfang die funktionale Adaptationskapazität des Sportlers überschreitet. Die Autoren sehen einen direkten bzw. kausalen Zusammenhang zwischen extremen Ausdauerbelastungen und einer erhöhten morgendlichen Ruheherzfrequenz, die sich jedoch möglicherweise erst nach einer Dauer von zwei Wochen entwickelt, wie dies auch für TN1 zutrifft. Dressendorfer et al. (1985) sehen darin einen Hinweis auf die Entstehung eines Übertrainingsyndroms. Der Einfluss der extremen Belastungsfaktoren des Deutschlandlaufs wirkt sich jedenfalls deutlich auf das sympathovagale Gleichgewicht während der Regenerationsphase aus, die vagale Einflussnahme auf das Herz ist gehemmt.

Das von Horn (2003) beschriebene Zeitverhalten der Herzfrequenzvariabilität nach hohen Belastungen tritt bei TN1 erst nach Beendigung des Deutschlandlaufs ein, sodass davon ausgegangen werden kann, dass ein einzelner Wettkampftag für diesen Sportler keine erschöpfende Ausdauerbelastung darstellt, die Summation von 17 Wettkampftagen unmittelbar hintereinander jedoch zu einer deutlichen und mehrwöchigen Störung der autonomen Balance mit quantitativer Dominanz der sympathischen Aktivität führt. Möglicherweise zeigt die tendenzielle Zunahme der Herzfrequenzvariabilität am Ende der Regenerationsphase den Beginn der von Horn (ebenda) beschriebenen autonomen Gegenregulation an.

Eine eingeschränkte parasympathische Aktivität werten Uusitalo et al. (2000) als Begleiterscheinung eines Übertrainingszustands und verweisen gleichzeitig auf die Möglichkeit einer reduzierten Sympathikusaktivität. Da auch die gemischt sympathisch-parasympathisch modulierten Parameter der Herzfrequenzvariabilität bei TN1 deutlich eingeschränkte Werte aufweisen, ist es nicht auszuschließen, dass auch die Aktivität des sympathischen Anteils des autonomen Nervensystems im Vergleich zu den ersten beiden Messphasen reduziert ist. Da alle Parameter der Herzfrequenzvariabilität zumindest anteilig vagal moduliert werden – nach Horn (2003) wird auch die Spektralleistung im LF-Band überwiegend vagal moduliert, Zaza und Lombardi (2001) gehen von einer sympathischen Modulation aus, während gemeinhin eine sympathovagale Modulierung angenommen wird (vgl. Achten & Jeukendrup, 2003; Berntson et al., 1997; Hoos, 2006; Hottenrott et al., 2006; Pichot et al., 2000) – ist eine solche Vermutung nicht zweifelsfrei zu belegen. Die

Kombination aus reduzierter Herzfrequenzvariabilität und erhöhten Ruheherzfrequenzwerten lässt jedoch die Annahme zu, dass es aufgrund eines reduzierten Vagotonus zu einer Verschiebung des sympathovagalen Gleichgewichts hin zu einer Dominanz sympathischer Einflüsse kommt, die eine unzureichende Regenerationsfähigkeit des Teilnehmers aufgrund einer zu hohen vorausgegangenen Belastungsphase anzeigt (vgl. Baumert et al., 2006; Dressendorfer et al., 1985; Iellamo et al., 2002; Mourot et al., 2004; Pichot et al., 2000; Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology, 1996; Winsley et al., 2005). Die systemische Erschöpfung zeigt sich bei TN1 überraschenderweise erst nach Beendigung des Wettkampfes, der Einfluss der äußeren Belastungsfaktoren und Stressoren wirkt sich auf das vegetative Nervensystem erst mit Verzögerung, dafür jedoch nachhaltig aus. Die bis zum Ende der Regenerationsphase andauernden Veränderungen der Herzfrequenzvariabilität und der Ruheherzfrequenz zeigen, dass eine Regenerationsphase von drei Wochen für TN1 nicht ausreichend ist, um sich von den Belastungen des Deutschlandlaufs ausreichend zu erholen.

Achten und Jeukendrup (2003) assoziieren eine eingeschränkte Herzfrequenzvariabilität mit einer reduzierten maximalen Sauerstoffaufnahme und damit mit einer Abnahme der Leistungsfähigkeit bei maximalen Belastungen im Ausdauerbereich. Hynynen et al. (2008) und Mourot et al. (2004) konnten reduzierte Werte einzelner Parameter der Herzfrequenzvariabilität bei Sportlern mit Übertrainingssyndrom im Vergleich zu Kontrollgruppen nachweisen. Diagnostisch relevante Parameterveränderungen, die auf das Vorliegen einer Überbelastung hinweisen würden, konnten anhand der ermittelten Leistungsparameter bei TN1 jedoch nicht nachgewiesen werden.

Die kritischen Veränderungen der Herzfrequenzvariabilität während der Regenerationsphase zeigen eine bei Horn (2003) beschriebene autonome Balancestörung an. Alternative Erklärungen für den Anstieg der Ruheherzfrequenz und den Abfall der Herzfrequenzvariabilität in Form einer möglichen Erkrankung oder eines Infektes liegen nicht vor.

Die Regenerationsphase von drei Wochen im Anschluss an den Deutschlandlauf ist für diesen Sportler nicht ausreichend, um den Zustand des vegetativen Nervensystems wieder zu stabilisieren und die Wiederherstellung einer Homöostase zu gewährleisten. Als möglichen Grund nennt Horn (2003, S. 256) „belastungsinduzierte strukturelle Schädigungen auf Zellebene“. Da die Ausdauerleistungsfähigkeit eines Sportlers einen unmittelbaren Einfluss auf das Verhalten der autonomen Funktionsparameter ausübt (Horn, ebenda) ist in vorliegendem Fall davon auszugehen, dass die Belastungsparameter der Wettkampfphase die individuellen Kapazitäten des Sportlers überschritten und eine längerfristige Regeneration erfordern.

## TN2

Die zu Beginn des Deutschlandlaufs (2. bis 4. Wettkampftag) bei TN2 erhöhten Ruheherzfrequenzwerte, die gleichzeitig ein kritisches Ereignis anzeigen, könnten für eine erhöhte Anfangsnervosität des Sportlers zu Wettkampfbeginn sprechen, jedoch auch einer zu hohen Laufgeschwindigkeit auf den ersten Tagesetappen geschuldet sein. Bereits zu diesem Zeitpunkt könnte eine eingeschränkte Regenerationsfähigkeit des Teilnehmers vorgelegen haben (vgl. Baumert et al., 2006; Dressendorfer et al., 1985), wobei am zweiten und sechsten Wettkampftag anhand der Spektralleistung im HF-Frequenzband eine erhöhte vagale Aktivität abzuleiten ist.

Auffällig sind hohe Schwankungen der Ruheherzfrequenz zu Wettkampfbeginn. Während sich die Werte innerhalb der Normwertbestimmung zwischen 41 und maximal 50 Schlägen pro Minute

bewegten, wird bereits am dritten Wettkampftag ein maximaler Wert von 60 Schlägen pro Minute erreicht. Auch dies könnte auf eine zu hohe Belastungsintensität bzw. einen zu hohen Belastungsumfang zu Beginn des Wettkampfes und auf eine eingeschränkte Regenerationsfähigkeit des Sportlers hinweisen. Eine Erhöhung der Ruheherzfrequenz um 15 Schläge pro Minute im Vergleich zu einem vordefinierten Normwert, wie bei TN2 vorhanden, ordnen Dressendorfer et al. (1985) hohen Belastungsanforderungen im Ausdauersport zu und sehen wie Baumert et al. (2006) einen direkten Zusammenhang zum Auftreten eines Übertrainingssyndroms.

Iellamo et al. (2002) allerdings ziehen die Möglichkeit in Betracht, dass eine erhöhte sympathische Aktivität in Verbindung mit einer eingeschränkten parasympathischen Aktivität auch einen neurovegetativen Anpassungsprozess darstellen könne, mit dem Ziel, die sportliche Leistungsfähigkeit zu optimieren. In diesem Fall könnte dies gleichbedeutend damit sein, dass das kardiovaskuläre System Anpassungsprozesse zeigt, um auf die extremen Anforderungen des Wettkampfes optimal vorbereitet zu sein, möglicherweise im Sinne eines Vorstartzustands.

Lehmann et al. (1991) benennen vor allem Veränderungen der sympathischen Aktivität des autonomen Nervensystems als ursächliche Faktoren für eine erhöhte Ruheherzfrequenz. Ähnlich argumentieren Baumert et al. (2006), die erhöhte Ruheherzfrequenzwerte bei Ausdauersportlern während einer intensivierten zweiwöchigen Trainingsphase nachweisen konnten. Auch Veränderungen der Katecholaminsensitivität sowie des neuroendokrinen Systems werden als mögliche Erklärungsfaktoren genannt (Kuipers & Keizer, 1988; Lehmann, Foster et al., 1993; vgl. Earnest et al., 2004).

Urhausen und Kindermann (2002b) verweisen in diesem Zusammenhang auf die Möglichkeit eines Infekts, der jedoch in vorliegendem Fall ausgeschlossen werden kann. Die Ruheherzfrequenz des Teilnehmers erholt sich an den folgenden Wettkampftagen wieder und zeigt innerhalb des Deutschlandlaufs kein weiteres kritisches Ereignis an. Sie ist im Vergleich zu den Normwerten dennoch im Mittel um 5 Schläge pro Minute erhöht. Auffällig ist, dass die nachgewiesenen und als kritisch eingestuften Veränderungen den auftretenden Verletzungen unmittelbar vorausgehen.

Die Parameter der Herzfrequenzvariabilität zeigen während des Deutschlandlaufs weder ein kritisches Ereignis an noch sind sie im Vergleich zu den Werten der Normwertbestimmung erniedrigt. Für den vierten Wettkampftag jedoch ergeben sich Tiefstwerte für die vagal modulierten Zeitbereichsparameter rMSSD und SD1, den gemischt sympathisch-parasympathisch beeinflussten Parameter RRsd sowie die Spektralleistung im HF-Frequenzband, was auf eine verringerte vagale Einflussnahme an der kardialen Aktivität schließen lässt und somit eine Verschiebung des sympathovagalen Gleichgewichts in Richtung eines verstärkten Einflusses des Sympathikus anzeigt. Zu diesem Zeitpunkt scheint der Sportler in seiner Regenerationsfähigkeit eingeschränkt, sowohl die Ruheherzfrequenz als auch die Herzfrequenzvariabilität und die Befindlichkeit zeigen Werte außerhalb des Normbereichs an. Eine ausreichende Wiederherstellung der physiologischen und psychologischen Systeme ist zu diesem Zeitpunkt möglicherweise nicht gewährleistet.

Die am fünften Wettkampftag auftretenden Verletzungsprobleme des Teilnehmers könnten ein weiteres Indiz für einen zu hohen Belastungsumfang bzw. eine zu hohe Belastungsintensität auf den vorangegangenen Etappen sein. Ein zu hoher Anteil der auf den Sportler einwirkenden Belastungsfaktoren bzw. Stressoren könnte sich bei TN2 negativ auf die Herzfrequenzvariabilität

ausgewirkt haben und damit die reduzierten Werte am vierten Wettkampftag erklären (vgl. Baumert et al., 2006; Berbalk & Bauer, 2001; Pichot et al., 2000).

Die während des Deutschlandlaufs im Vergleich zur Normwertbestimmung im Mittel um 4 Schläge pro Minute erhöhte Ruheherzfrequenz in Kombination mit einer nahezu identischen mittleren Spektralleistung im HF-Frequenzband sowie einer deutlich erhöhten mittleren Spektralleistung im LF-Frequenzband lässt zunächst eine gesteigerte Sympathikusaktivität während der Wettkampfphase vermuten. Jedoch ergibt sich der hohe Mittelwert der Spektralleistung im LF-Frequenzband hauptsächlich aufgrund der am zweiten und fünften Wettkampftag ermittelten Höchstwerte und repräsentiert daher nicht die autonome Funktionslage während des gesamten Deutschlandlaufs. Eine Interpretation der kardiologischen Parameter an den genannten beiden Wettkampftagen lässt widersprüchliche Schlussfolgerungen zu. Während die am fünften Etappentag erniedrigte Spektralleistung im HF-Frequenzband eine reduzierte vagale Aktivität anzeigt (vgl. Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology, 1996), sprechen die Werte der Spektralleistung im LF-Frequenzband für eine gleichzeitig erhöhte sympathische Aktivität, die sich allerdings nicht anhand kritischer Veränderungen der Ruheherzfrequenz nachweisen lässt. Nach Horn (2003), die im Gegensatz zur Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology (1996) die Spektralleistung im LF-Frequenzband als hauptsächlich vagal moduliert ansieht, sind die bei TN2 beschriebenen Anpassungen im LF-Band überraschend, lassen jedoch nach derzeitiger Studienlage eine gesteigerte sympathische Aktivität vermuten, zumal vielfach von einer antagonistischen Wirkungsweise beider Komponenten des autonomen Nervensystems ausgegangen wird (vgl. Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology, 1996; Hottenrott et al., 2006).

Die am zweiten Wettkampftag vorliegende erhöhte Spektralleistung im HF-Frequenzband spricht für eine gesteigerte vagale Aktivität, die nach Horn (2003) ebenso die erhöhten Werte im LF-Band erklären würde. Der gleichzeitig ermittelte Anstieg der Ruheherzfrequenz erschwert die Einschätzung der autonomen Funktionslage an diesem Tag. Von widersprüchlich erscheinenden Veränderungen der Herzfrequenzvariabilität und der Ruheherzfrequenz berichten auch Hottenrott et al. (2006), die ein Sättigungsverhalten des Sinusknotens in Zusammenhang mit der autonomen Modulation als möglichen Erklärungsansatz heranziehen.

Insgesamt wäre aufgrund der abfallenden Laufgeschwindigkeit, dem relativ hohen Anstrengungsempfinden und der auftretenden Verletzungen ein stärkeres und längerfristiges Absinken der Herzfrequenzvariabilität des Sportlers unterhalb der vordefinierten Normwerte zu erwarten gewesen, wie dies für erschöpfende Ausdauerbelastungen gemeinhin angenommen wird (vgl. Arvay & Hofmann, 2001; Berbalk & Bauer, 2001; Horn, 2003). Nach Horn (2003) scheint die autonome Regulation nach erschöpfenden Ausdauerbelastungen wesentlich vom Grad der strukturellen Störungen und Schäden beeinflusst. Die Ausdauerleistungsfähigkeit des Teilnehmers ist ausreichend, um die achttägige Wettkampfphase trotz auftretender Verletzungen ohne eine erkennbar anhaltende autonome Dysbalance zu bestreiten.

Veränderungen der Parameter der Herzfrequenzvariabilität und der Ruheherzfrequenz zeigen sich während der Regenerationsphase vor allem zu Beginn und gegen Ende.

Während der ersten vier Regenerationstage ist eine reduzierte gesamte Spektralleistung im HF-Frequenzband und somit eine verminderte parasympathische Aktivität und Verschiebung des sympathovagalen Gleichgewichts in Richtung eines verstärkten Einflusses des Sympathikus bei TN2 erkennbar. Der prozentuale LF-Anteil am Gesamtsignal in dieser Zeit ist erhöht, der prozentuale HF-Anteil am Gesamtsignal erniedrigt. Ähnliche Ergebnisse wiesen Winsley et al. (2005) bei als inaktiv eingestuften Personen nach einer intensiven zweiwöchigen Trainingsphase nach.

Gegen Ende der Regenerationsphase (10. bis 12. Tag) ist eine verminderte vagale Einflussnahme anhand der reduzierten Werte der parasympathisch modulierten Zeitbereichsparameter rMSSD und SD1 sowie anhand der erhöhten Ruheherzfrequenz auszumachen, für jeden der genannten Parameter treten kritische Ereignisse auf. Auch Baumert et al. (2006) dokumentierten erniedrigte Werte für den Parameter rMSSD bei Ausdauersportlern nach intensiviertem Training im Zusammenhang mit Leistungsminderungen.

Auffällig ist weiterhin eine geringe Spektralleistung im HF-Frequenzband am siebten Regenerationstag in Verbindung mit einem extrem hohen Wert für Spektralleistung im LF-Frequenzband. Diese Wertekombination spricht für eine erhöhte Sympathikusaktivität an diesem Regenerationstag (vgl. Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology, 1996) und widerspricht einer nahezu vollständigen vagalen Modulation des Parameters (vgl. Horn, 2003; Pomeranz et al., 1985).

Ebenso wie bei den Parametern der Herzfrequenzvariabilität zeigen sich Veränderungen der Ruheherzfrequenz. Im Vergleich zum Mittelwert während der Normwertbestimmung steigt der Mittelwert während der Regenerationsphase um 3 Schläge auf 48 Schläge pro Minute an. Die Mittelwerte der Parameter rMSSD, SD2 und die mittlere Spektralleistung im HF-Frequenzband zeigen im Vergleich zur Normwertbestimmung tendenziell niedrigere Werte an, die mittlere Spektralleistung im LF-Frequenzband dagegen ist deutlich erhöht, bewegt sich jedoch mit Ausnahme des siebten Regenerationstages im Normbereich. Die beschriebenen Veränderungen lassen eine periodische sympathische Dominanz zu Beginn, gegen Ende und in der Mitte der Regenerationsphase vermuten, ohne dass ein Infekt oder eine Erkrankung vorlag.

Diese Störung der autonomen Balance könnte auf ein individuell angepasstes, wellenförmiges Einschwingen der Werte auf das Vorbelastungsniveau hindeuten (vgl. Horn, 2003). Eine hinreichende Regeneration des Sportlers ist gegen Ende der Regenerationsphase noch nicht gewährleistet, was anhand der Ergebnisse des letzten Leistungstests belegt werden konnte.

### TN3

Die Ruheherzfrequenz des Teilnehmers erreicht während des Deutschlandlaufs, hier vor allem am dritten Wettkampftag, sowie während der Regenerationsphase deutlich erhöhte Werte. Diese Steigerung könnte auf eine zu hohe Wettkampfbelastung und ungenügende Regeneration hinweisen, möglicherweise mit beeinflusst durch die weiteren vom Sportler benannten Stressoren. Insgesamt zeigen die Ruheherzfrequenzwerte von TN3 während des Deutschlandlaufs und der Regenerationsphase eine ergotrope Funktionslage und einen dominanten Einfluss des sympathischen Anteils des autonomen Nervensystems an. Erhöhte Ruheherzfrequenzwerte nach umfangreichen Ausdauerbelastungen konnten auch Baumert et al. (2006), Dressendorfer et al.

(1985) sowie Iellamo et al. (2002) bei Leichtathleten, Triathleten, Ruderern und Langstreckenläufern dokumentieren.

Die bereits am ersten Tag des Deutschlandlaufs reduzierte Herzfrequenzvariabilität in Verbindung mit einer erhöhten Ruheherzfrequenz könnte auf eine hohe Anfangsnervosität des Teilnehmers zu Wettkampfbeginn hinweisen.

Unmittelbar nach Abbruch des Deutschlandlaufs ist bei TN3 anhand niedriger Werte der vagal modulierten Zeitbereichsparameter rMSSD und SD1 eine eingeschränkte parasympathische Aktivität festzumachen. Diese schlägt sich auch in niedrigen Werten der gemischt sympathisch-parasympathisch beeinflussten Zeitbereichsparameter RRsd und SD2 und in der Spektralleistung im LF-Frequenzband nieder. Für den Parameter RRsd sowie die Spektralleistung im LF-Frequenzband treten kritische Ereignisse auf, ebenso für die Ruheherzfrequenz.

Ein deutlicher Anstieg der Spektralleistung im HF-Frequenzband sowie der Werte des Parameters rMSSD ist an den Regenerationstagen 5 und 6 zu erkennen und deutet auf eine Verschiebung des sympathovagalen Gleichgewichts in Richtung eines verstärkten Einflusses des Parasympathikus hin. Dies wird gleichzeitig durch einen erhöhten prozentualen HF-Anteil am Gesamtsignal vom vierten bis siebten Regenerationstag dokumentiert. Die Regenerationsfähigkeit des Sportlers zeigt zu diesem Zeitpunkt einen erhöhten Wert an.

Gegen Ende der Regenerationsphase (7. bis 12. Tag) kommt es erneut zu einem Absinken der Herzfrequenzvariabilität, angezeigt durch ein Unterschreiten der unteren Grenzbereiche durch die Zeitbereichsparameter RRsd, rMSSD und SD1 vom neunten bis zwölften Regenerationstag sowie durch den Parameter SD2 vom siebten bis zwölften Regenerationstag. Die Ruheherzfrequenz des Teilnehmers bewegt sich vom fünften bis zum zwölften Regenerationstag oberhalb des Normbereichs, es liegt ein kritisches Ereignis vor.

Eine verminderte vagale Aktivität und damit einhergehende eingeschränkte Regenerationsfähigkeit des Teilnehmers wird anhand der Ruheherzfrequenz sowie der Parameter der Herzfrequenzvariabilität für den Beginn der Wettkampfphase sowie den Anfang und das Ende der Regenerationsphase angezeigt. Die dokumentierte tendenzielle Steigerung der vagalen Einflussnahme innerhalb der ersten vier Regenerationstage schlägt sich in einer leicht abfallenden Tendenz der Ruheherzfrequenzwerte in diesem Zeitraum nieder.

Auch Baumert et al. (2006), Iellamo et al. (2002) und Pichot et al. (2000) konnten eine Verschiebung des sympathovagalen Gleichgewichts in Richtung eines verstärkten Einflusses des Sympathikus aufgrund eines erhöhten Belastungsumfangs bei Ausdauersportlern nachweisen. Diese Effekte verflüchtigten sich in der von Baumert et al. (2006) durchgeführten Studie jedoch nach etwa drei bis vier Tagen Regenerationszeit, sodass die Autoren in ihrer Diagnose von Überbelastungen ausgingen. In vorliegendem Fall ist eine eingeschränkte vagale Aktivität auch am Ende der Regenerationsphase noch nachweisbar, die jedoch nicht mit einer Leistungsminderung beim letzten Stufentest einhergeht.

Der sympathische Anteil des autonomen Nervensystems übt bei TN3 während des Deutschlandlaufs und der anschließenden Regenerationsphase einen dominanten Einfluss aus, was sich anhand der reduzierten vagal modulierten Parameter der Herzfrequenzvariabilität sowie der erhöhten Ruheherzfrequenz nachweisen lässt. Dennoch deuten die während der Regenerationsphase deutlich erniedrigte Spektralleistung im LF-Frequenzband sowie die erniedrigten Werte der sympathisch-parasympathisch modulierten Parameter RRsd und SD2 darauf hin, dass auch die

sympathische Aktivität des Teilnehmers im Vergleich zur Normwertbestimmung reduziert gewesen sein könnte (vgl. Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology, 1996). Eine reduzierte Gesamtaktivität des autonomen Nervensystems während der Regenerationsphase würde die Vermutung zulassen, dass neben einem kurzzeitigen Mangel an Nährstoffen auch eine ausgeprägte systemische Erschöpfung des Sportlers vorlag, die sich auf beide Anteile des autonomen Nervensystems dämpfend auswirkte und eine Regenerationszeit von mehr als zwei Wochen erforderte, um eine vollständige Erholung zu gewährleisten. Eine zweifelsfreie Beurteilung der rein sympathischen Gesamtaktivität ist aufgrund der vagalen Einflussnahme auf die Parameter der Herzfrequenzvariabilität und die Ruheherzfrequenz jedoch nicht möglich (vgl. Horn, 2003).

Zu hinterfragen ist bei TN3 die erhöhte Vagusaktivität in der Mitte der Regenerationsphase (4. bis 6. Regenerationstag), die als zunehmende Erholung des Teilnehmers interpretiert werden kann. Denkbar wäre es, diesen Anstieg als individuell variierendes und wellenförmiges Regenerationsverhalten der Herzfrequenzvariabilität nach erschöpfenden Ausdauerbelastungen zu bewerten (vgl. Horn, ebenda). Das erneute Absinken der vagal modulierten Parameter der Herzfrequenzvariabilität zum Ende der Regenerationsphase zeigt, dass eine vollständige Erholung noch nicht stattgefunden hat und es erneut zu einer relativen sympathischen Dominanz aufgrund des Belastungsstressors während des Deutschlandlaufs kommt. Die aerobe Leistungsfähigkeit des Sportlers ließ es nicht zu, die Belastungsfaktoren der Wettkampfphase zu tolerieren. Möglicherweise ist das Ausmaß „belastungsindizierter struktureller Schädigungen auf Zellebene“ (Horn, 2003, S. 256) so groß, dass die insgesamt zwölf tägige Regenerationsphase für den Teilnehmer nicht ausreichend ist, um sich auf kardiologischer Ebene ausreichend von den Strapazen des für ihn lediglich drei Tage andauernden Deutschlandlaufs zu erholen.

Über das Vorliegen alternativer Stressfaktoren während der letzten Messphase liegen keine Informationen vor.

#### *TN4*

Die Parameter der Herzfrequenzvariabilität dokumentieren eine deutliche Abnahme der parasympathischen Aktivität während des Deutschlandlaufs. Die gleich zu Wettkampfbeginn erniedrigten Werte der Zeitbereichsparameter rMSSD und SD1 sowie der Spektralleistung im HF-Frequenzband könnten zunächst Folge der psychischen Anspannung des Sportlers sein, bewegen sich jedoch auch an sämtlichen folgenden Wettkampftagen unterhalb des Normbereichs. Neben psychologischen Faktoren ist demnach auch der Belastungsumfang des Ultramarathons als ursächliche Erklärung der verringerten Herzfrequenzvariabilität wahrscheinlich. Diese zeigt bei TN4 eine Störung der autonomen Balance aufgrund der erschöpfenden Anforderungen des Laufes an, wie sie beim Auftreten von Überbelastungen grundsätzlich zu erwarten ist (vgl. Aubert et al., 2003; Berbalk & Bauer, 2001; Israel, 1976).

Das sympathovagale Gleichgewicht ist in Richtung eines verstärkten Einflusses des Sympathikus verschoben. Dies zeigt sich auch anhand der Veränderungen der Ruheherzfrequenz im Wettkampfzeitraum, die sich im Mittel bei 71 Schlägen pro Minute bewegt, 18 Schläge höher als im Mittel während der Normwertbestimmung, ohne dass ein Infekt oder eine Erkrankung vorlag. An sämtlichen Messtagen des Deutschlandlaufs liegen die Werte der Ruheherzfrequenz oberhalb des Normbereichs. Auffällig ist vor allem der starke Anstieg zu Wettkampfbeginn von 65 Schlägen pro

Minute auf 76 Schläge pro Minute, was eine erhöhte Anfangsnervosität des Teilnehmers vermuten lässt. Die deutlich und dauerhaft erhöhten Ruheherzfrequenzwerte und die eingeschränkte Herzfrequenzvariabilität sind für den Sportler als kritisch einzustufen und zeigen ein Missverhältnis zwischen Belastungsanforderungen und Belastbarkeit an. Baumert et al. (2006) sowie Dressendorfer et al. (1985) sehen in einer Erhöhung der Ruheherzfrequenz in vorliegendem Ausmaß einen direkten Zusammenhang zum Auftreten eines Übertrainingssyndroms.

Baumert et al. (2006), Iellamo et al. (2002) und Pichot et al. (2000) konnten bei Ausdauersportlern unterschiedlicher Disziplinen während hoch umfangreicher Belastungsphasen eine quantitative Dominanz sympathischer Einflüsse und eine eingeschränkte Parasympathikusaktivität nachweisen. Baumert et al. (2006) dokumentierten erniedrigte Werte der Zeitbereichsparameter RRsd und rMSSD in Verbindung mit Leistungsminderungen bei Leichtathleten und Triathleten, Iellamo et al. (2002) belegten in einer Studie mit Hochleistungsruderern, dass in Phasen höchst intensiven und umfangreichen Trainings die Spektralleistung im HF-Frequenzband im Vergleich zu Normwerten der Sportler signifikant abnahm. Nach extremen Belastungsumfängen im Ausdauerbereich wie während des Deutschlandlaufs ist eine verringerte Herzfrequenzvariabilität also grundsätzlich zu erwarten (vgl. Arvey & Hofmann, 2001) – auch wenn andere Autoren Veränderungen der Herzfrequenzvariabilität trotz diagnostizierter Leistungsminderungen bei Ausdauersportlern nicht nachweisen konnten (vgl. Hedelin et al., 2000; Uusitalo et al., 2000).

Die Regenerationsfähigkeit von TN4 ist bereits während der Wettkampfphase deutlich eingeschränkt. Inwieweit die Verletzungen des Sportlers einen Einfluss auf dessen autonome Dysbalance ausübten, ist nicht zu belegen. Gall et al. (2004) konnten verletzungsbedingte Veränderungen der Herzfrequenzvariabilität in eigenen Untersuchungen nicht nachweisen. Horn (2003) geht davon aus, dass die autonome Regulation von der Schwere struktureller Schädigungen auf Zellebene beeinflusst ist.

Es zeigt sich, dass die auf den Sportler einwirkenden Stressoren in ihrer Gesamtheit – Belastungsumfang, psychischer Stress und möglicherweise die aufgetretenen Verletzungsprobleme – das sympathovagale Gleichgewicht negativ beeinflussen und die Regenerationsfähigkeit durch die vagale Unterfunktion eingeschränkt ist.

Auch während der gesamten fünfzehntägigen Regenerationsphase ist keine Verbesserung der Erholungsfähigkeit des Sportlers auszumachen.

Die parasympathische Aktivität ist weiterhin deutlich und dauerhaft eingeschränkt und der relative Einfluss des Sympathikus dominant – die vagal modulierten Parameter (Spektralleistung im HF-Bereich, SD1, rMSSD) bewegen sich an sämtlichen Messtagen, die sympathisch und parasympathisch modulierten Parameter (Spektralleistung im LF-Bereich, RRsd, SD2) an den meisten Messtagen unterhalb des Normbereichs. Auch die Mittelwerte der genannten Parameter liegen auf einem deutlich niedrigeren Niveau als während der Normwertbestimmung.

Zusätzlich kommt es im Vergleich zur ersten Messphase zu deutlichen Veränderungen der Ruheherzfrequenz. Der als kritisch definierte Grenzwert von 55 Schlägen pro Minute wird während der Regenerationsphase dauerhaft überschritten. Es treten maximale Werte von 65 Schlägen pro Minute auf (10. Regenerationstag), ohne dass krankheitsbedingte Ursachen als Erklärung herangezogen werden können. Der Mittelwert der Ruheherzfrequenz während der Regenerationsphase liegt bei 61 Schlägen pro Minute und ist im Vergleich zur Normwertbestimmung um 8



Schläge pro Minute erhöht. Dies belegt eine Beeinträchtigung der vegetativen Balance des Teilnehmers.

Die erniedrigten Werte des sympathisch und parasympathisch modulierten Parameters RRsd und die verringerte Spektralleistung im LF-Frequenzband während nahezu der gesamten Regenerationsphase könnten auf eine ebenso eingeschränkte sympathische Aktivität und damit auf eine insgesamt reduzierte autonome Funktionslage hinweisen. Eine eindeutige Einschätzung der Sympathikusaktivität anhand der Parameter der Herzfrequenzvariabilität ist jedoch nach derzeitiger Studienlage nicht möglich – wenn auch prinzipiell angenommen wird, dass „unter den meisten physiologischen Bedingungen eine sympathische Aktivierung von einer vagalen Inhibition begleitet ist (und umgekehrt)“ (Horn, 2003, S. 42). Festzuhalten ist in jedem Fall eine relative Dominanz des Sympathikus kombiniert mit einer vagalen Unterfunktion, welche sich anhand der deutlich erhöhten Ruheherzfrequenzwerte und der reduzierten vagal modulierten Parameter der Herzfrequenzvariabilität belegen lässt.

Für den Teilnehmer ist die an den Deutschlandlauf anschließende fünfzehntägige Regenerationsphase zu kurz, um die für ihn normaltypische neurovegetative Balance wieder herzustellen. Die Parasympathikusaktivität und damit verbunden die Regenerations- oder Erholungsfähigkeit des Sportlers bleibt bis zum Ende dieser Messphase deutlich eingeschränkt. Baumert et al. (2006), die ähnliche Veränderungen bei Ausdauersportlern nachweisen konnten, dokumentierten eine Normalisierung der Herzfrequenzvariabilität bereits nach drei bis vier Regenerationstagen und gingen dennoch von vorliegenden Überbelastungen aus.

Kuipers (1998) argumentiert in diesem Zusammenhang, dass es während auftretender Überbelastungen zunächst zu einer Dominanz sympathischer Einflüsse kommt, während ein Übertrainingssyndrom mit einer Dominanz der parasympathischen Aktivität einhergeht. Während der gesamten Regenerationsphase ist bei TN4 keine autonome Gegenregulation als Antwort auf die eingeschränkte vagale Aktivität erkennbar. Die autonome Funktionslage des Sportlers zeigt keine Anzeichen einer Regeneration, sodass davon ausgegangen werden muss, dass die Ausdauerleistungsfähigkeit des Sportlers sowie die Beanspruchungen während des Deutschlandlaufs in keinem angemessenen Verhältnis zueinander standen. Nach Horn (2003) regulieren diese Faktoren unmittelbar nach Belastungsende das Verhalten der autonomen Funktionsparameter während der Regenerationsphase.

Es ist davon auszugehen, dass die bei TN4 dokumentierten Beeinträchtigungen auf den Belastungsumfang des Deutschlandlaufs zurückzuführen sind. Die als kritisch zu bezeichnenden Veränderungen der Herzfrequenzvariabilität und der Ruheherzfrequenz zeigen ein autonomes Ungleichgewicht an, das auch nach einer gut zweiwöchigen Regenerationsphase keine Tendenz zur Normalisierung erkennen lässt.

Die durch vorliegende Studienergebnisse gestützte Annahme, dass eine erhöhte Herzfrequenzvariabilität mit einem verbesserten Leistungszustand bei Ausdauersportlern in Verbindung zu bringen ist (vgl. Achten & Jeukendrup, 2003; Gilder & Ramsbottom, 2008; Kiviniemi et al., 2006; Sandercock et al., 2005; Tulppo et al., 2003), würde bei TN4 den umgekehrten Rückschluss zulassen, dass die eingeschränkten Werte der Herzfrequenzvariabilität mit einer reduzierten aeroben Leistungsfähigkeit zu assoziieren sind.

Eine dauerhafte und deutliche Einschränkung der Parasympathikusaktivität wie bei TN4 zeigt eine erhebliche systemische Erschöpfung an. In Verbindung mit den vordefinierten Diagnosekriterien

und vor allem einer diagnostizierten Leistungsminderung würden die kritischen Parameterveränderungen für das Vorliegen einer Überbelastung oder eines Übertrainingssyndroms sprechen, vorausgesetzt, alternative pathologische Erklärungen könnten ausgeschlossen werden.

#### *TN5*

Auffällig erscheinen die während der Normwertbestimmung sehr geringen Werte des vagal modulierten Zeitbereichsparameters *rMSSD*, die eine gering ausgeprägte Schlag-zu-Schlag-Variabilität anzeigen und nach Löllgen (1999) für gut trainierte Ausdauersportler untypisch sind. Auf Nachfrage gab der Teilnehmer an, sich während der morgendlichen Messungen der Herzfrequenzvariabilität und Ruheherzfrequenz entspannt und wohlfühlt zu haben, es lagen keinerlei äußere Störfaktoren vor. Die niedrige Herzfrequenzvariabilität lässt sich somit nur mit den großen interindividuellen Unterschieden dieses Parameters erklären.

Die extreme Wettkampfbelastung des Deutschlandlaufs führt bei TN5 wider Erwarten nicht zu einer Verringerung der Herzfrequenzvariabilität, sondern zu einer tendenziell leichten Erhöhung, insbesondere vom achten bis zehnten Wettkampftag. Die vagal modulierten Zeitbereichsparameter *rMSSD* und *SD1* sowie die Spektralleistung im HF-Bereich bewegen sich an drei aufeinanderfolgenden Tagen oberhalb des Normbereichs und zeigen bei TN5 während des Deutschlandlaufs insgesamt leicht erhöhte Werte an. Die gemischt sympathisch-parasympathisch beeinflussten Parameter *RRsd* und *SD2* sowie die Spektralleistung im LF-Bereich bewegen sich auf gleichbleibendem Niveau, sind jedoch in der Mitte der Wettkampfphase ebenfalls tendenziell leicht erhöht. Dies spricht für eine während dieses Messzeitraums verstärkte parasympathische Aktivität. Ähnliche Ergebnisse zeigen Untersuchungen von Atlaoui et al. (2007), Earnest et al. (2004), Hedelin, Kenttä et al. (2000), Pichot et al. (2002) und Uusitalo et al. (2000), die allesamt keine Verminderungen der Herzfrequenzvariabilität bei Sportlern während intensiver und umfangreicher Trainings- oder Wettkampfphasen nachweisen konnten.

Auffällig erscheint der zeitliche Zusammenhang mit dem Auftreten eines Leistungstiefs, das am achten Wettkampftag durch Tiefstwerte für die Laufgeschwindigkeit und Höchstwerte für das Anstrengungsempfinden angezeigt wird. Auf die erhöhten Werte der vagal modulierten Parameter der Herzfrequenzvariabilität erfolgen eine Zunahme der Laufgeschwindigkeit des Teilnehmers sowie eine Abnahme der Borg-Werte ab dem neunten Wettkampftag. Ein während dieser Tage erhöhter Parasympathikotonus dokumentiert eine im Vergleich zu den ersten Wettkampftagen verbesserte Regenerationsfähigkeit des Teilnehmers und lässt eine ausreichende Belastungstoleranz vermuten, die sich im weiteren Wettkampferfolg positiv bemerkbar macht.

Bei extrem umfangreichen Ausdauerbelastungen wie dem Deutschlandlauf und täglichen Belastungsumfängen von ca. 70 Kilometern bzw. sechs bis acht Stunden gehen Arvay und Hofmann (2001) grundsätzlich jedoch davon aus, dass die Parameter der Herzfrequenzvariabilität am Folgetag einer solchen Belastung eingeschränkte Werte aufweisen (vgl. Horn, 2003). Bei gegensätzlichen Veränderungen nennen die Autoren die Möglichkeit der Erschöpfung des sympathoadrenergen Antriebes (vgl. Lehmann et al., 1989; Lehmann et al., 1990) aufgrund zu hoher äußerer Belastungsanforderungen. Demnach könnten Extrembelastungen wie der Deutschlandlauf zu einer Einschränkung der Sympathikusaktivität führen und es würden „aufgrund des nahezu eliminierten sympathischen Antriebes, die vagalen Einflüsse auf das Herz überwiegen und die [...] erhöhte Herzfrequenzvariabilität erklären“ (Arvay & Hofmann, 2001, S. 12).

Eine solche Unterfunktion bzw. Eliminierung des sympathischen Anteils des autonomen Nervensystems ist bei TN5 anhand der sympathisch-parasympathisch modulierten Parameter nicht auszumachen. Es kommt zu keinen auffälligen Veränderungen der prozentualen HF- bzw. LF-Anteile am Gesamtspektrum und auch die Spektralleistung im LF-Band zeigt im Mittel einen leicht erhöhten Wert. Die zwischen dem achten und zehnten Wettkampftag gleichzeitig erhöhten Werte der Spektralleistungen im LF- und HF-Bereich lassen eher die Vermutung zu, dass der erhöhte parasympathische Einfluss einer ansteigenden vagalen Aktivität zuzuschreiben ist – auch wenn diese unter den meisten physiologischen Bedingungen mit einer sympathischen Hemmung einhergeht (vgl. Horn, 2003). Sämtliche Parameter der Herzfrequenzvariabilität zeigen gegen Ende der Wettkampfphase wieder Werte innerhalb des Normbereichs an.

Die Ruheherzfrequenz bleibt bei diesem Teilnehmer auf einem konstanten Niveau und zeigt eine autonome Balance an, sodass davon ausgegangen werden muss, dass der Sportler sich über Nacht ausreichend erholen konnte, um die Belastungsanforderungen der einzelnen Tagesetappen des Deutschlandlaufs zu tolerieren. Dennoch können auch Leistungsminderungen während intensiver und umfangreicher Trainings- oder Belastungsphasen mit einer unveränderten Ruheherzfrequenz einhergehen (vgl. Halson et al., 2002; Jeukendrup et al., 1992; Snyder et al., 1995; Urhausen et al., 1998; Uusitalo et al., 2000; Vogel et al., 2001). Auch die Herzfrequenzvariabilität zeigt während Höchstbelastungen nicht zwangsläufig reduzierte Werte an (vgl. Hedelin, Kenttä et al., 2000; Uusitalo et al., 2000). Ein Übertrainingssyndrom kann letztlich ebenso mit einer Dominanz der parasympathischen Aktivität einhergehen (vgl. Israel, 1976; Kuipers, 1998).

Inwieweit der Sportler im Anschluss an den Ultramarathon eine eingeschränkte Leistungsfähigkeit aufwies, ließ sich aufgrund seiner erlittenen Verletzung am letzten Wettkampftag und den infolgedessen ausbleibenden weiteren Leistungstests nicht belegen.

Nach Beendigung des Deutschlandlaufs wurden lediglich vier statt der vorgesehenen vierzehn Messungen der Herzfrequenzvariabilität und Ruheherzfrequenz durchgeführt.

Einem leichten Anstieg der Herzfrequenzvariabilität während der Wettkampfphase folgt ein deutliches Absinken der Zeitbereichsparameter RRsd, rMSSD, SD1, SD2 sowie der Spektralleistung im LF- sowie HF-Bereich während der Regenerationsphase. Die über die vier Messtage erreichten Mittelwerte des sympathisch-parasympathisch modulierten Zeitbereichsparameters RRsd sowie der vagal beeinflussten Parameter rMSSD und SD1 liegen unterhalb der vordefinierten unteren Grenzwerte, der Mittelwert der Ruheherzfrequenz oberhalb des vordefinierten oberen Grenzwerts, ohne dass eine alternative Erklärung wie ein Infekt oder eine Erkrankung vorliegt.

Ein Anstieg der Ruheherzfrequenz wie in vorliegendem Fall zeigt nach Dressendorfer et al. (1985), dass der Belastungsumfang des Deutschlandlaufs die funktionale Adaptationskapazität des Sportlers überschritt. Die Verfasser sehen einen direkten bzw. kausalen Zusammenhang zwischen extremen Ausdauerbelastungen und erhöhter morgendlicher Ruheherzfrequenz, die sich jedoch möglicherweise erst nach einer Dauer von zwei Wochen entwickelt, wie dies auch für TN5 zutrifft. Dressendorfer et al. (1985) sehen darin einen Hinweis auf die Entstehung eines Übertrainings-syndroms (vgl. Baumert et al., 2006).

Der Einfluss der extremen Belastungsfaktoren des Deutschlandlaufs wirkt sich deutlich auf das sympathovagale Gleichgewicht während der Regenerationsphase aus, die parasympathische Aktivität des autonomen Nervensystems ist auch zwei Wochen nach Beendigung des Wett-

kampfes reduziert und die Regenerationsfähigkeit des Sportlers eingeschränkt. Das von Horn (2003) beschriebene Zeitverhalten der Herzfrequenzvariabilität nach hohen Belastungen tritt nun bei TN5 ein, sodass davon ausgegangen werden muss, dass die Summation von 17 Wettkampftagen unmittelbar hintereinander zu einer deutlichen und mehrwöchigen Störung der autonomen Balance mit quantitativer Dominanz der sympathischen Aktivität führt. Eine autonome Gegenregulation und ein Anstieg der vagal modulierten Parameter der Herzfrequenzvariabilität sind auch gegen Ende der letzten Untersuchungsphase nicht auszumachen.

Wenn auch aufgrund der geringen Anzahl der Messtage während der Regenerationsphase eine Interpretation der Daten unter Vorbehalt erfolgen muss, so ist doch zu vermuten, dass die vorliegende zweiwöchige Erholungszeit von zwei Wochen im Anschluss an den Deutschlandlauf für diesen Sportler nicht ausreichend ist, um den Zustand des vegetativen Nervensystems wieder zu stabilisieren und die Wiederherstellung einer Homöostase zu gewährleisten.

Inwieweit die erlittenen Verletzungen des Teilnehmers die Werte mit beeinflusst haben könnten, bleibt spekulativ (vgl. Gall et al., 2004), ebenso die Frage nach einer möglichen Leistungsminderung, auf die die reduzierten Werte der Herzfrequenzvariabilität hinweisen könnten (vgl. Achten & Jeukendrup, 2003).

#### *TN6*

Während des Deutschlandlaufs dokumentieren die deutlich reduzierten Werte der vagal modulierten Zeitbereichsparameter rMSSD und SD1 sowie die verringerte absolute Spektralleistung im HF-Frequenzband, welche vom dritten bis zum siebten Wettkampftag ein kritisches Ereignis anzeigen, eine eingeschränkte parasymphatische Aktivität des Teilnehmers. Auch die gemischt sympathisch-parasympathisch beeinflussten Parameter RRsd und SD2 zeigen ab dem dritten Wettkampftag deutlich erniedrigte Werte an, die Spektralleistung im LF-Bereich ist vor allen an den Wettkampftagen 3 und 5 deutlich eingeschränkt.

Die Belastungsfaktoren des Deutschlandlaufs bewirken bei diesem Sportler eine Verringerung der Herzfrequenzvariabilität und eine Störung der autonomen Funktionslage. Die reduzierte parasymphatische Aktivität lässt eine Verschiebung des sympathovagalen Gleichgewichts und damit verbunden einen verstärkten Einfluss des Sympathikus erkennen, wie es beim Auftreten von Überbelastungen bzw. während hoch umfangreicher Wettkampfphasen grundsätzlich zu erwarten ist (vgl. Arvey & Hofmann, 2001; Aubert et al., 2003; Baumert et al., 2006; Berbak & Bauer, 2001; Iellamo et al., 2002; Israel, 1976; Pichot et al., 2000; Portier et al., 2001), auch wenn in einzelnen Studien Veränderungen der Herzfrequenzvariabilität während umfangreicher und intensiver Trainingsbelastungen trotz diagnostizierter Leistungsminderungen bei Ausdauersportlern nicht nachgewiesen werden konnten (vgl. Hedelin, Kenttä et al., 2000; Uusitalo et al., 2000).

Die Ruheherzfrequenz im Wettkampfzeitraum bewegt sich im Mittel bei 64 Schlägen pro Minute, 8 Schläge höher als im Mittel während der Normwertbestimmung, ohne dass ein Infekt oder eine Erkrankung vorliegt. An fünf von sieben Messtagen liegen die Werte der Ruheherzfrequenz oberhalb des Normbereichs. Auch dies lässt vermuten, dass die auf den Sportler einwirkenden Stressoren das sympathovagale Gleichgewicht negativ beeinflussen und durch die deutlich verminderte Aktivität des Parasympathikus die Regenerationsfähigkeit eingeschränkt ist. Baumert et al. (2006) und Dressendorfer et al. (1985) sehen in einer Erhöhung der Ruheherzfrequenz in

vorliegendem Ausmaß einen direkten Zusammenhang zum Auftreten eines Übertrainings-syndroms.

Auffällig ist, dass die kritischen Veränderungen der Ruheherzfrequenz und der Parameter der Herzfrequenzvariabilität erst ab dem dritten Wettkampftag auftreten, nachdem der Teilnehmer seine auf den ersten beiden Tagesetappen hohe Laufgeschwindigkeit deutlich reduzieren musste. Eine erhöhte Anfangsnervosität des Teilnehmers als Erklärungsursache für die genannten Veränderungen erscheint somit unwahrscheinlich. Die deutlich und dauerhaft erhöhten Ruheherzfrequenzwerte und die eingeschränkte Herzfrequenzvariabilität sind für den Sportler als kritisch einzustufen und zeigen ein Missverhältnis zwischen Belastungsanforderungen und Belastbarkeit an. Auch Baumert et al. (2006), Iellamo et al. (2002) und Pichot et al. (2000) konnten bei Ausdauersportlern unterschiedlicher Disziplinen während hoch umfangreicher Belastungsphasen eine dominante Sympathikusaktivität und eine eingeschränkte Parasympathikusaktivität nachweisen. Die Regenerationsfähigkeit von TN6 bleibt bis zum Ende der Wettkampfphase und darüber hinaus deutlich eingeschränkt. Inwieweit verletzungsbedingte Probleme Einfluss auf die Entwicklung der Parameter der Herzfrequenzvariabilität ausübten, ist allerdings nicht abschätzbar (vgl. Gall et al., 2004). Der von Achten und Jeukendrup (2003) vermutete Zusammenhang zwischen aerober Ausdauerleistungsfähigkeit und Herzfrequenzvariabilität (vgl. Gilder & Ramsbottom, 2008; Kiviniemi et al., 2006; Sandercock et al., 2005; Tulppo et al., 2003) bestätigt sich bei TN6 anhand der leicht verminderten Leistungswerte bei den im Anschluss an den Deutschlandlauf durchgeführten Stufentests.

Auch während der gesamten vierzehntägigen Regenerationsphase ist keine Verbesserung der Erholungsfähigkeit des Sportlers auszumachen. Die parasympathische Aktivität ist weiterhin deutlich und dauerhaft eingeschränkt und der Einfluss des Sympathikus dominant. Die Zeitbereichsparameter rMSSD und SD1 sowie die Spektralleistung im HF-Frequenzband als Indikatoren der parasympathischen Aktivität bewegen sich an zehn von elf Messtagen – also nahezu während der gesamten Regenerationsphase – unterhalb des Normbereichs.

Auch die gemischt sympathisch und parasympathisch modulierten Parameter (Spektralleistung im LF-Bereich, RRsd, SD2) zeigen noch niedrigere Mittelwerte als während des Deutschlandlaufs an und unterschreiten den Normbereich in kritischer Form.

Die Ruheherzfrequenz bewegt sich während der gesamten Regenerationsphase im Mittel erneut deutlich (um 8 Schläge pro Minute) oberhalb des Normbereichs. Es treten maximale Werte von 73 Schlägen pro Minute auf (8. Regenerationstag), ohne dass krankheitsbedingte Ursachen vorliegen. Der als kritisch definierte obere Grenzwert von 60 Schlägen pro Minute wird an acht von elf Messtagen überschritten, was eine Beeinträchtigung der vegetativen Steuerung des Teilnehmers belegt.

Es ist davon auszugehen, dass diese Beeinträchtigungen auf den Belastungsumfang des Deutschlandlaufs zurückzuführen sind. Die als kritisch zu bezeichnenden Veränderungen der Herzfrequenzvariabilität und der Ruheherzfrequenz zeigen ein autonomes Ungleichgewicht an, der vagale Einfluss ist gehemmt. Kuipers (1998) bringen die beschriebenen Veränderungen mit der Immanenz von Überbelastungen in Verbindung und vermuten eine Dominanz parasympathischer Aktivität bei auftretenden Übertrainingssyndromen (vgl. Israel, 1976).

Es ist in der Regenerationsphase keine autonome Gegenregulation als Antwort auf die eingeschränkte vagale Aktivität erkennbar. Die autonome Steuerung des Sportlers zeigt keine Anzeichen einer Regeneration, sodass davon ausgegangen werden muss, dass die Ausdauerleistungsfähigkeit des Sportlers sowie die Beanspruchungen während des Deutschlandlaufs in keinem angemessenen und für den Sportler tolerierbaren Verhältnis zueinander standen. Nach Horn (2003) regulieren die Ausdauerleistungsfähigkeit sowie die Intensität einer Belastung das Verhalten der autonomen Funktionsparameter in der Regenerationsphase. Die Autorin vermutet als Grund für die quantitative Dominanz sympathischer Aktivität belastungsinduzierte strukturelle Schädigungen auf Zellebene.

Im Zusammenhang mit der im Anschluss an den Deutschlandlauf diagnostizierten – wenn auch nur geringfügigen – Leistungsminderung, lassen die kritischen Parameterveränderungen das Vorliegen eines Übertrainingssyndroms, zumindest jedoch einer Überbelastung – alternative Erklärungen ausgeschlossen – möglich erscheinen.

Für den Teilnehmer ist die an den Deutschlandlauf anschließende Regenerationsphase offensichtlich zu kurz, um die für ihn normaltypische neurovegetative Balance wieder herzustellen. Die reduzierte Herzfrequenzvariabilität und erhöhte Ruheherzfrequenz weisen auf eine unzureichende Regenerationsfähigkeit des Teilnehmers aufgrund der vorangegangenen Belastungsphase hin (vgl. Baumert et al., 2006; Dressendorfer et al., 2006; Iellamo et al., 2002; Mourots et al., 2004; Pichot et al., 2000; Winsley et al., 2005). Baumert et al. (2006), die ähnliche Veränderungen bei Ausdauersportlern nachweisen konnten, dokumentierten eine Normalisierung der Herzfrequenzvariabilität bereits nach drei bis vier Regenerationstagen und gingen bei den untersuchten Sportlern dennoch von vorliegenden Überbelastungen aus. Auch Uusitalo et al. (2000) sehen eine deutlich eingeschränkte Herzfrequenzvariabilität als Begleiterscheinung eines Übertrainingsyndroms an.

Eine dauerhafte und deutliche Einschränkung der Parasympathikusaktivität wie bei TN6 zeigt eine erhebliche systemische Erschöpfung an, die in Verbindung mit entsprechenden Diagnosekriterien eine Überbelastung vermuten ließe. Die bis zum Ende der Regenerationsphase andauernden Veränderungen der Herzfrequenzvariabilität und der Ruheherzfrequenz zeigen an, dass eine Regenerationsphase von zwei Wochen für TN6 nicht ausreichend ist, um sich von den Belastungen des Deutschlandlaufs ausreichend zu erholen.

Tabelle 54 fasst die Mittelwerte der Parameter der Herzfrequenzvariabilität sowie der Ruheherzfrequenz während der unterschiedlichen Messzeiträume für sämtliche Teilnehmer zusammen.

Tab. 54: Mittelwerte der kardiologischen Messparameter während der unterschiedlichen Messzeiträume für TN1-TN6.

Teilnehmer/kardiol. Messparameter	Mittelwert Normwertbestimmung	Mittelwert Deutschlandlauf	Mittelwert Regenerationsphase
<b>TN1</b>			
RRsd (ms)	71,26	81,36	41,35
rMSSD (ms)	101,25	99,85	46,46
SD1 (ms)	72,17	71,38	33,85
SD2 (ms)	117,57	145,82	74,72
HF (%)	57,04	47,63	48,58
LF (%)	39,62	44,52	42,47
HF (ms <sup>2</sup> )	2842,27	3786,23	1029,28
LF (ms <sup>2</sup> )	1846,20	3198,22	983,93
Ruheherzfrequenz (S/min)	44,39	47,26	54,05
<b>TN2</b>			
RRsd (ms)	85,17	90,83	84,30
rMSSD (ms)	125,96	122,87	112,85
SD1 (ms)	89,73	87,54	80,39
SD2 (ms)	183,50	176,18	148,53
HF (%)	67,16	55,16	58,85
LF (%)	27,34	38,14	34,42
HF (ms <sup>2</sup> )	4306,25	4610,48	3725,06
LF (ms <sup>2</sup> )	1850,28	3058,30	2687,26
Ruheherzfrequenz (S/min)	45,31	49,89	47,97
<b>TN3</b>			
RRsd (ms)	48,31	48,54	31,95
rMSSD (ms)	40,32	26,25	33,24
SD1 (ms)	29,92	19,45	24,04
SD2 (ms)	124,45	117,04	84,78
HF (%)	14,47	8,27	29,32
LF (%)	70,82	69,73	55,62
HF (ms <sup>2</sup> )	333,24	191,25	317,47
LF (ms <sup>2</sup> )	1746,51	1682,37	599,32
Ruheherzfrequenz (S/min)	46,05	57,95	52,16
<b>TN4</b>			
RRsd (ms)	54,36	38,07	32,30
rMSSD (ms)	50,65	26,18	26,08
SD1 (ms)	36,27	18,92	18,69
SD2 (ms)	105,11	79,08	59,27

Teilnehmer/kardiolog. Messparameter	Mittelwert Normwertbestimmung	Mittelwert Deutschlandlauf	Mittelwert Regenerationsphase
HF (%)	34,41	18,24	30,21
LF (%)	58,13	72,01	64,73
HF (ms <sup>2</sup> )	931,08	252,47	317,58
LF (ms <sup>2</sup> )	1876,79	1122,41	711,95
Ruheherzfrequenz (S/min)	52,66	70,63	60,80
<b>TN5</b>			
RRsd (ms)	28,25	33,25	19,34
rMSSD (ms)	24,72	31,54	16,04
SD1 (ms)	16,69	22,59	11,48
SD2 (ms)	51,24	67,58	42,60
HF (%)	24,65	26,95	30,34
LF (%)	68,26	64,48	63,27
HF (ms <sup>2</sup> )	167,81	333,05	100,07
LF (ms <sup>2</sup> )	629,45	735,58	254,91
Ruheherzfrequenz (S/min)	54,93	54,20	59,91
<b>TN6</b>			
RRsd (ms)	81,83	49,00	41,02
rMSSD (ms)	90,86	51,61	40,62
SD1 (ms)	64,85	36,83	29,11
SD2 (ms)	125,14	82,46	72,44
HF (%)	37,68	31,31	27,86
LF (%)	52,48	59,71	58,29
HF (ms <sup>2</sup> )	2620,90	1030,94	824,93
LF (ms <sup>2</sup> )	3702,93	1679,19	1015,14
Ruheherzfrequenz (S/min)	55,94	63,62	64,41



### 5.2.5 Diskussion vorliegender Überbelastungen

Aufgrund fehlender medizinischer Untersuchungen ist die Diagnose einer Überbelastung oder eines Übertrainingssyndroms bei den untersuchten Teilnehmern nicht zulässig. Eine solche kann nur bei Ausschluss alternativer Erklärungen für eine Leistungsminderung vorgenommen werden. In der dargelegten Untersuchung traten bei vier von sechs Sportlern Verletzungen auf (TN2, TN4, TN5, TN6), die bei drei dieser Sportler zum Abbruch des Wettkampfes führten. Es ist nicht auszuschließen, dass diese Verletzungen das Resultat einer für die Läufer insgesamt zu hohen Gesamtbelastung darstellten und es zu verletzungsbedingten Abbrüchen kam, während einzelne Parameterveränderungen bereits die Entstehung einer Überbelastung andeuteten und eine Fortführung des Wettkampfes zu einem systemischen Zusammenbruch hätte führen können. So argumentieren Smith et al. (1990), dass exzessiver Stress aufgrund negativer Auswirkungen auf psychische Aspekte wie Aufmerksamkeit und Konzentrationsfähigkeit sowie aufgrund einer erhöhten Muskelspannung und einer damit verbundenen eingeschränkten Koordinationsfähigkeit das Auftreten von Verletzungen begünstigen könne. In diesem Zusammenhang konnten beispielsweise Derman et al. (1997) abnorme strukturelle Veränderungen des Skelettmuskels bei neun Ausdauersportlern mit chronischer Müdigkeit feststellen.

Gleichzeitig denkbar ist, dass die durch Verletzungen hervorgerufenen Entzündungen beispielsweise über Interleukine auf zentrale Prozesse zurückgewirkt und vegetative Symptome ausgelöst haben (vgl. Angeli et al., 2004; Kayser & Gremion, 2004; MacKinnon, 2000; Main et al., 2010; Vogel, 2001; Teeple et al., 2006; Smith, 2000; Lakier Smith, 2003). Main et al. (2010) vermuten einen direkten Zusammenhang zwischen Entzündungsprozessen und dem Auftreten von Befindlichkeitsverschlechterungen (vgl. Armstrong & VanHeest, 2002), Fry et al. (1991) verweisen auf die Möglichkeit, dass das Laufen auf hartem Untergrund zu einer mechanischen Zerstörung roter Blutkörperchen führen könne, die sich auf die Leistungsfähigkeit auswirke. Gleeson (1998) sieht einen Zusammenhang zwischen muskulären Verletzungen und der Fähigkeit der Muskulatur, Glykogen zu speichern.

Somit ist nicht auszuschließen, dass durch das Auftreten vor allem muskulärer Beeinträchtigungen während des Deutschlandlaufs auch diagnoserelevante Parameter negativ beeinflusst wurden und dadurch die Regenerationsfähigkeit der Sportler im Anschluss an den Lauf beeinträchtigt war.

Grundsätzlich stellt sich in diesem Zusammenhang die Frage nach Ursache und Wirkung: Welche symptomatischen Veränderungen sind Folge einer Überlastung und als Merkmale einer Überbelastung zu werten und welche symptomatischen Veränderungen tragen zur Genese einer Überbelastung als ursächliche Faktoren bei? In vielen Fällen, und gerade im Bereich der muskulären Verletzungen, ist diese Frage nicht eindeutig zu klären.

Ebenso spekulativ bleibt die Einschätzung der Leistungsentwicklung bei denjenigen Teilnehmern, die Leistungstests absagen mussten. Es erscheint möglich, dass beispielsweise für TN2 beim zweiten Test unmittelbar nach Beendigung des Deutschlandlaufs eine noch deutlichere Leistungsminderung nachweisbar gewesen wäre. Die ermittelten Veränderungen während des Deutschlandlaufs hätten dann eindeutiger als geeignete Frühwarnsymptome einer Überbelastung gewertet werden können.

Eine abschließende Diagnose einer Überbelastung oder eines Übertrainingssyndroms erscheint aufgrund des Fehlens einer vollständigen klinischen Untersuchung und diverser Laborunter-

suchungen im Anschluss an den Lauf sowie aufgrund des Vorliegens alternativer Ursachen für eine Leistungsminderung (Verletzungen) ausgeschlossen. Dennoch soll im Folgenden teilnehmerbezogen diskutiert werden, ob aufgrund der dokumentierten Parameterveränderungen grundsätzlich die Möglichkeit einer immanenten Überbelastung vorlag.

#### 5.2.5.1 TN1

Die bei TN1 hauptsächlich während der Regenerationsphase aufgetretenen Veränderungen der Parameter der Herzfrequenzvariabilität und der Ruheherzfrequenz sind als Zeichen einer starken vorausgegangenen und noch anhaltenden systemischen Beanspruchung zu bewerten. Es lag in diesem Fall also eine starke und lang anhaltende Ermüdung vor, die sich in Form einer sympathisch-parasympathischen Dysbalance ausdrückte, vom Sportler selbst jedoch nicht als solche wahrgenommen wurde.

Auf das Befinden des Teilnehmers wirkte sich diese vegetative Verschiebung im weiteren Verlauf der Regenerationsphase nicht aus. Er hatte am Ende der Messphase den Eindruck, sich vollständig von den Strapazen des Deutschlandlaufs erholt zu haben, und fühlte sich körperlich und geistig ausgeruht. Es lagen keine weiteren Beeinträchtigungen vor und der Sportler war bereit, sein normales Trainingspensum wieder aufzunehmen.

Von einer Überbelastung kann aufgrund unauffälliger Ergebnisse bei den Leistungstests nicht ausgegangen werden, auch wenn die physiologischen Parameter eine dreiwöchige Auslenkung außerhalb des vordefinierten Normbereichs anzeigten. Sowohl die Laufgeschwindigkeit während des Deutschlandlaufs als auch die erzielte Maximalleistung beim zweiten und dritten durchgeführten Leistungstest gaben keine Hinweise auf eine Leistungsminderung, die eine Voraussetzung für die Diagnose einer Überbelastung oder eines Übertrainingssyndroms darstellt.

#### 5.2.5.2 TN2

Bei TN2 traten kritische Ereignisse in Bezug auf sämtliche untersuchten Parameter (Befindlichkeit, Ruheherzfrequenz, Herzfrequenzvariabilität) auf, noch bevor eine mehr als 10%ige Leistungsminderung als Kriterium einer Überbelastung beim letzten Leistungstest nachgewiesen wurde. Da die eingeschränkte Leistungsfähigkeit am Ende der Regenerationsphase auch unmittelbar nach Beendigung des Deutschlandlaufs immanent gewesen sein dürfte, können die nachgewiesenen kritischen Ereignisse im Bezug auf die Ruheherzfrequenz und Befindlichkeit des Teilnehmers als geeignete Frühwarnsymptome einer Überbelastung gewertet werden.

Aufgrund des fehlenden zweiten Leistungstests und der aufgetretenen Verletzungen ist eine Einordnung der diagnostizierten Leistungsminderung beim abschließenden Test jedoch nicht zweifelsfrei zu leisten. Diese könnte sowohl einer andauernden Erschöpfung als auch den verletzungsbedingten Problemen zuzuschreiben sein. Eine Leistungsminderung in Verbindung mit einem Ausschluss alternativer Erklärungen dürfte zwei Wochen nach Beendigung der Wettkampfphase als Überbelastung, möglicherweise jedoch auch schon als Übertrainingssyndrom interpretiert werden. Aufgrund verletzungsbedingter und möglicherweise ursächlich leistungslimitierend wirkender Einflussfaktoren (der Sportler klagte über leichte Schmerzen im linken Oberschenkel)

erscheint das Vorliegen einer Überbelastung trotz deutlicher Anzeichen und diagnostisch verwertbarer Ergebnisse dennoch fragwürdig.

Der Sportler selbst begründete das hohe Anstrengungsempfinden während des Deutschlandlaufs mit den erlittenen Verletzungen und berichtete von einem mentalen Leistungseinbruch am sechsten Wettkampftag. Eine Erschöpfung oder das Gefühl, überbelastet gewesen zu sein, wurde dagegen verneint. Die dokumentierten Veränderungen der gemessenen Parameter zeigten jedoch Beeinträchtigungen in Form der aufgeführten kritischen Ereignisse, schon bevor es zum Auftreten der Verletzungen kam und auch noch gegen Ende der Regenerationsphase (10. bis 12. Tag).

Es ist in jedem Fall anzunehmen, dass die zu Beginn des Deutschlandlaufs gewählte Laufgeschwindigkeit des Teilnehmers zu hoch war, möglicherweise auch, dass diese zu verletzungsbedingten Problemen geführt haben könnte. Die Belastungssituation des Deutschlandlaufs erforderte für den Teilnehmer eine längere Regenerations- bzw. Taperingphase als zwei Wochen, um zumindest das ursprüngliche Leistungsniveau wieder zu erreichen.

Dennoch beschrieb dieser sich in einem abschließenden Fragebogen am 30.9.08 beim letzten Leistungstest als ausreichend erholt.

### 5.2.5.3 TN3

Da bei TN3 die ermittelte Leistungsminderung gering ausfiel (2,5 %) und aufgrund der beschriebenen mangelnden Kalorienzufuhr eine alternative Erklärung für den Abbruch des Laufes vorlag, bleibt es zweifelhaft, ob bei diesem Teilnehmer die Diagnose einer Überbelastung in Betracht gezogen werden kann.

Lag eine Ermüdung oder gar zeitweise Überbelastung vor, dann wurde diese im Verlauf der Regenerationsphase überwunden und es kam zu einem zeitlich verzögerten positiven Anpassungseffekt in Bezug auf die Laufleistung. Dieser ging jedoch nicht mit anhaltenden positiven Veränderungen der restlichen Messparameter einher.

Die Dauer der an den Deutschlandlauf anschließenden Regenerationszeit bis zum letzten Leistungstest war für TN3 ausreichend, um sein ursprüngliches Leistungsniveau wieder zu erreichen bzw. dieses sogar zu steigern, jedoch zu kurz, um sich von der Belastung des Deutschlandlaufs dahingehend zu erholen, dass sich die individuelle Befindlichkeit, die Ruheherzfrequenz und die Herzfrequenzvariabilität wieder vollkommen normalisierten.

Der subjektive Eindruck einer Überbelastung oder einer körperlichen sowie mentalen Erschöpfung wurde vom Teilnehmer verneint, dieser fühlte sich nach Abbruch des Laufes körperlich relativ gut und imstande, sein reguläres Trainingspensum wieder aufzunehmen.

Er berichtete jedoch in einem abschließenden Fragebogen nach Beendigung der Regenerationsphase, sich körperlich und geistig unausgeruht zu fühlen, und gab an, schläfriger und müder zu sein, als dies normalerweise der Fall sei. Er hatte für diese Müdigkeit keine Erklärung, brachte sie jedoch nicht mit der Teilnahme am Deutschlandlauf in Zusammenhang.

Denkbar ist, dass die beruflichen Belastungsfaktoren des Sportlers und seine ohnehin labile Stimmungslage bei den lang andauernden Veränderungen der Ruheherzfrequenz und Herzfrequenzvariabilität eine Rolle spielten. Es ist schwer vorstellbar, aber nicht auszuschließen, dass die drei absolvierten Wettkampftage des Deutschlandlaufs die dokumentierten Veränderungen allein ursächlich bedingt haben könnten.

Ein Jahr nach Beendigung der Studie wurde bei TN3 eine ausgeprägte Schlafapnoe mit 25 Atemstillständen pro Stunde mit einer Dauer von 10 bis 40 Sekunden diagnostiziert. Inwieweit diese Schlafstörungen die Regenerationsphase des Teilnehmers negativ beeinträchtigt haben könnten, ist nicht abschätzbar.

Die Diagnose einer vorliegenden Überbelastung ist aufgrund der unauffälligen Leistungstests sowie der alternativen Erklärung für den Abbruch des Deutschlandlaufs (mangelhafte Ernährung) jedenfalls nicht zulässig.

#### 5.2.5.4 TN4

Aufgrund der Verletzungsprobleme von TN4 in den Monaten vor Beginn des Deutschlandlaufs verzichtete dieser auf die Durchführung der Laktatleistungstests auf dem Laufband. Eine objektive Einschätzung des Leistungsverlaufs dieses Teilnehmers über die drei Messphasen war somit nicht gegeben.

Ausgehend von den während des Deutschlandlaufs aufgetretenen Befindlichkeitsverschlechterungen sowie der dauerhaft ab dem ersten Wettkampftag eingeschränkten Herzfrequenzvariabilität und erhöhten Ruheherzfrequenz ist bei TN4 von einer systemischen Gesamtbeanspruchung auszugehen, die oberhalb der Belastungstoleranz des Sportlers lag. Diese Überforderung zeigte sich in einer Verschiebung der vegetativen Balance und einer deutlich und dauerhaft verminderten parasympathischen Aktivität und ging mit deutlich verschlechterter Befindlichkeit einher.

In Verbindung mit den vorliegenden Leistungsdaten (deutlicher Geschwindigkeitsabfall bis zum letzten Wettkampftag, hohe Borg-Werte) wäre es in vorliegendem Fall gerechtfertigt, eine Überbelastung als mögliche Ursache für den Abbruch des Laufs in Betracht zu ziehen. Das Vorliegen einer alternativen Erklärung anhand der Verletzungsprobleme lässt eine solche Diagnose jedoch nicht zu.

Es ist davon auszugehen, dass die extremen Belastungsanforderungen des Deutschlandlaufs die orthopädischen Probleme des Teilnehmers mit verursacht haben könnten. Inwieweit ähnliche Parameterveränderungen auch ohne Verletzungen aufgetreten wären, bleibt jedoch ebenso hypothetisch wie die Frage, ob entsprechende Leistungstests die vordefinierten Kriterien einer Überbelastung bei diesem Teilnehmer erfüllt hätten.

Die per Fragebogen durchgeführte abschließende Selbsteinschätzung des Teilnehmers am 30.9.08 ergab, dass dieser sich am Ende der Regenerationsphase – mit Ausnahme der noch nicht ganz ausgeheilten Sehnenscheidenentzündung am linken Fuß – als vollständig erholt beschrieb. Das körperliche Befinden wurde als sehr gut bewertet. Diese Einschätzung deckte sich mit den Werten der psychischen Befindlichkeit gegen Ende der dritten Messphase, nicht jedoch mit den Messergebnissen der Herzfrequenzvariabilität und der Ruheherzfrequenz.

Die zweiwöchige Regenerationsphase reichte TN4 nicht aus, um sein vegetatives Gleichgewicht wieder herzustellen, sodass zumindest von einer starken und lang anhaltenden Ermüdung ausgegangen werden muss.

#### 5.2.5.5 TN5

Die bei TN5 während der Regenerationsphase aufgetretene Verminderung der Herzfrequenzvariabilität und die im Vergleich zur Normwertbestimmung leichte Erhöhung der mittleren Ruheherzfrequenz um 5 Schläge pro Minute sind als Zeichen einer starken vorangegangenen systemischen Beanspruchung zu interpretieren. Es lag eine lang anhaltende Ermüdung vor, die sich in einer sympathisch-parasympathischen Dysbalance ausdrückte.

Das von Horn (2003) beschriebene zweiphasige Auslenkungsverhalten der autonomen Tonuslage nach erschöpfenden Ausdauerbelastungen ist während der Regenerationsphase nicht zu erkennen. Die nach einer Phase mit relativer sympathischer Dominanz zu erwartende autonome Gegenregulation mit einer Regeneration der vagalen Aktivität (vgl. Arvay & Hofmann, 2001) blieb bei TN5 aus.

Keine nennenswerten Veränderungen zeigten sich in Bezug auf die Befindlichkeit des Teilnehmers. Dieser verneinte im ersten im Anschluss an den Deutschlandlauf bearbeiteten Fragebogen eine geistige oder körperliche Erschöpfung oder das Gefühl, ausgebrannt bzw. überbelastet zu sein. In einem abschließenden Fragebogen vom 10.10.08 gab der Teilnehmer an, sich geistig und körperlich vollständig von den Strapazen des Deutschlandlaufs erholt zu haben. Das Befinden wurde als außerordentlich gut eingeschätzt und lediglich aufgrund der durch den Muskelfaserriss und die Knochenhautentzündung noch akuten Beschwerden wurde das normale Trainingspensum noch nicht wieder aufgenommen.

Die während des Deutschlandlaufs gewonnenen Daten lassen das Vorliegen einer Überbelastung als unwahrscheinlich erscheinen. Für eine entsprechende Diagnose wären zudem die Ergebnisse des zweiten und dritten Leistungstests notwendig gewesen.

#### 5.2.5.6 TN6

Die während des Deutschlandlaufs und der Regenerationsphase eingeschränkte Herzfrequenzvariabilität bei gleichzeitig erhöhter Ruheherzfrequenz zeigte bei TN6 eine systemische Gesamtbeanspruchung an, die oberhalb der Belastungstoleranz des Sportlers lag. Diese Überforderung drückte sich in einer Verschiebung der vegetativen Balance und einer deutlich und dauerhaft eingeschränkten parasympathischen Aktivität aus.

In Verbindung mit den vorliegenden Leistungsdaten (deutlicher Geschwindigkeitsabfall von der ersten bis zur letzten Tagesetappe; geringfügige Leistungsminderungen bei Test 2 und 3) wäre es in vorliegendem Fall berechtigt, eine Überbelastung als mögliche Ursache für den Abbruch des Laufs in Betracht zu ziehen. Das Vorliegen einer alternativen Erklärung (Ödeme in den Beinen) und eine fehlende allgemeinmedizinische Untersuchung zum Ausschluss weiterer Faktoren lässt eine solche Diagnose jedoch nicht zu.

Es ist davon auszugehen, dass die extremen Belastungsanforderungen des Deutschlandlaufs die orthopädischen Probleme des Teilnehmers mit verursacht haben könnten. Inwieweit ähnliche Parameterveränderungen auch ohne die aufgetretenen Ödeme nachweisbar gewesen wären, bleibt spekulativ.

Eine fünfzehntägige Regenerationsphase im Anschluss an den Deutschlandlauf war für TN6 nicht ausreichend, um sein vegetatives Gleichgewicht wieder herzustellen, sodass zumindest von einer starken und lang anhaltenden Ermüdung ausgegangen werden muss.

### 5.3 Analytische Statistik

Wie in Kapitel 4.8 dargestellt, erfolgte mittels einfaktorieller Varianzanalyse eine Einschätzung der Mittelwertdifferenzen ausgewählter Parameter der Herzfrequenzvariabilität, der Ruheherzfrequenz sowie der positiven und negativen Parameter der Befindlichkeit während der unterschiedlichen Messphasen (Phase 1 = Normwertbestimmung, Phase 2 = Deutschlandlauf, Phase 3 = Regenerationsphase). Übersichtshalber beschränkt sich die Darstellung der HRV-Parameter auf die Zeitbereichsparameter RRsd und rMSSD sowie die Spektralleistung im hochfrequenten (HF-) Frequenzband.

Das Signifikanzniveau wurde einheitlich auf  $p < .05$  festgelegt.

#### 5.3.1 TN1

##### 5.3.1.1 Ruheherzfrequenz

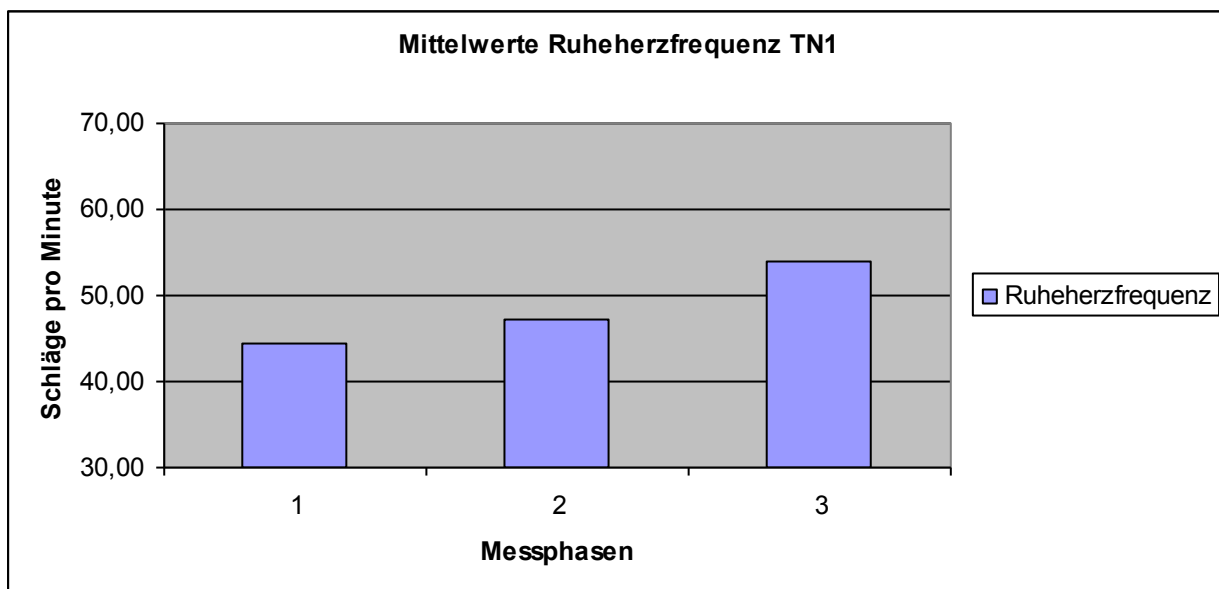


Abb. 215: Mittelwerte der Ruheherzfrequenz während der unterschiedlichen Messphasen bei TN1

Die Mittelwerte der Ruheherzfrequenz während der drei Messphasen unterscheiden sich bei TN1 signifikant:  $F(2,57) = 45,66$ ,  $p < .001$ ,  $\eta^2 = .62$ . Post hoc Tests (Scheffé) zeigten, dass der Deutschlandlauf (Messphase 2), und damit der erhöhte Belastungsindex des Sportlers, mit einer im Vergleich zur Normwertbestimmung signifikant erhöhten Ruheherzfrequenz einherging ( $M = 44,39$ ,  $SD = 1,58$  vs.  $M = 47,26$ ,  $SD = 3,14$ ,  $p = .04$ ). Diese unterscheidet sich während der Regenerationsphase ( $M = 54,05$ ,  $SD = 4,69$ ) noch deutlicher von den Werten der Normwertbestimmung ( $p < .001$ ) und ist während dieser Messphase auch gegenüber den Werten des Deutschlandlaufs signifikant erhöht ( $p < .001$ ).

### 5.3.1.2 Parameter der Herzfrequenzvariabilität

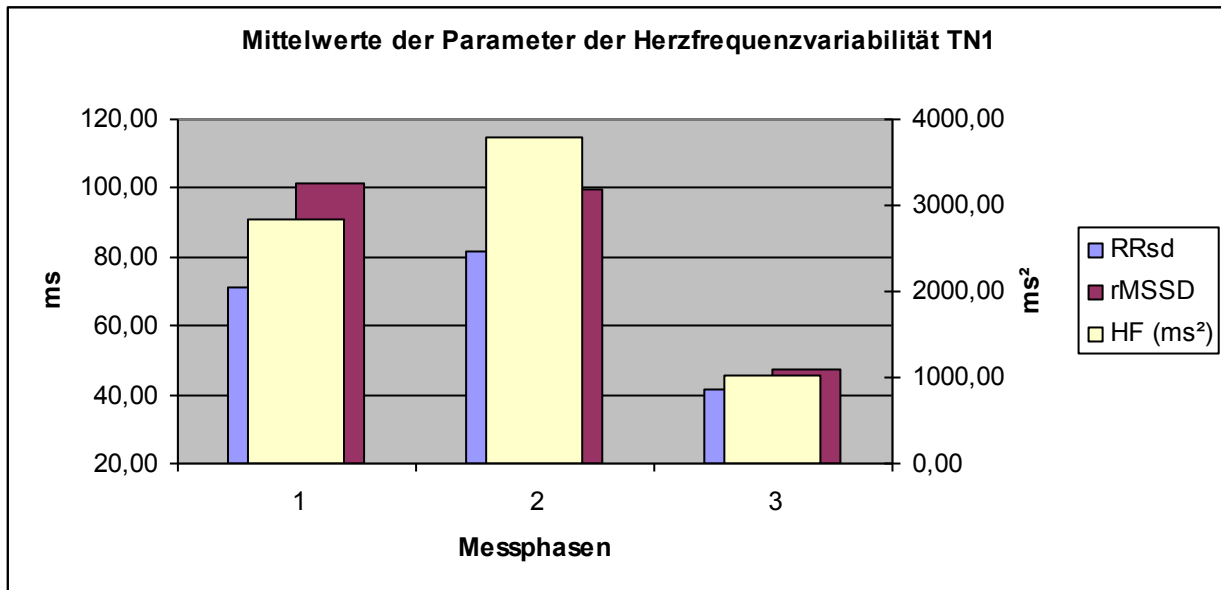


Abb. 216: Mittelwerte der Parameter der Herzfrequenzvariabilität während der unterschiedlichen Messphasen bei TN1

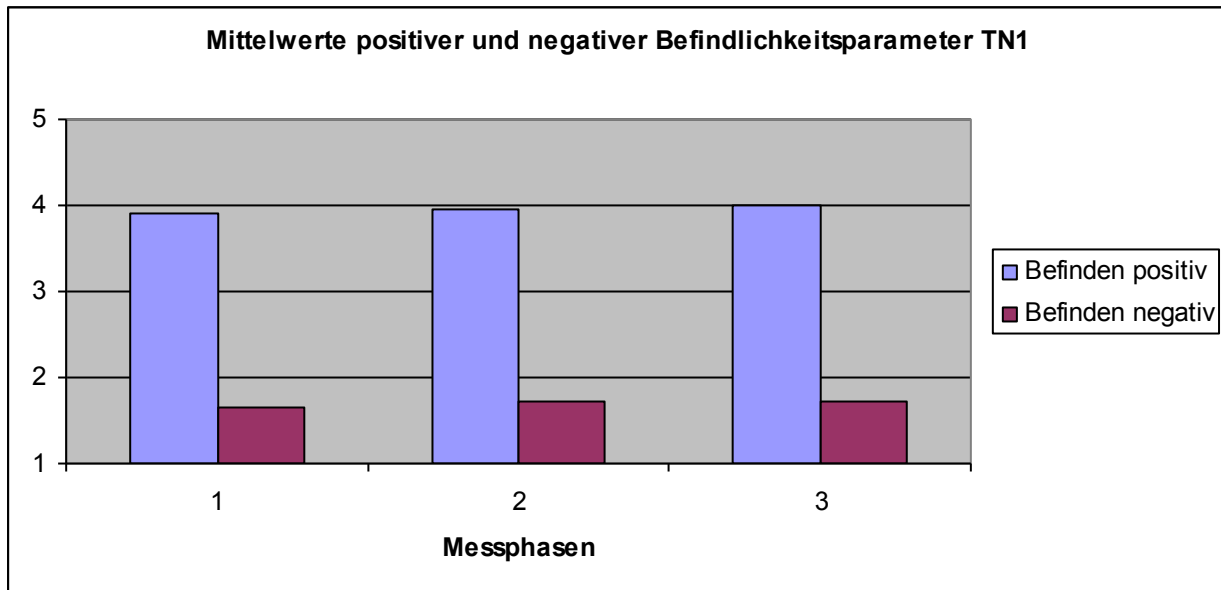
Die Messphasen und damit der Belastungsindex des Sportlers haben einen signifikanten Effekt auf die Höhe des RRsd ( $F(2,57) = 26,34$ ,  $p < .001$ ,  $\eta^2 = .48$ ), des rMSSD ( $F(2,57) = 28,55$ ,  $p < .001$ ,  $\eta^2 = .50$ ) und die Spektralleistung im HF-Bereich ( $F(2,57) = 11,38$ ,  $p < .001$ ,  $\eta^2 = .29$ ).

Post hoc Tests (Scheffé) zeigten keinen signifikanten Unterschied ( $p = .23$ ) in der Höhe des RRsd Wertes zwischen Normwertbestimmung ( $M = 71,26$ ,  $SD = 9,92$ ) und Deutschlandlauf ( $M = 81,36$ ,  $SD = 23,02$ ), jedoch signifikante Unterschiede zwischen der Höhe des RRsd während der Regenerationsphase ( $M = 41,35$ ,  $SD = 19,88$ ) im Vergleich zur Normwertbestimmung ( $p < .001$ ) und zum Deutschlandlauf ( $p < .001$ ).

Die Höhe des rMSSD Wertes zeigte ebenso keinen signifikanten Unterschied ( $p = .99$ ) zwischen Normwertbestimmung ( $M = 101,25$ ,  $SD = 15,78$ ) und Deutschlandlauf ( $M = 99,85$ ,  $SD = 34,78$ ), während ein signifikanter Unterschied ( $p < .001$ ) zwischen Regenerationsphase ( $M = 47,46$ ,  $SD = 26,41$ ) und Normwertbestimmung sowie zwischen Regenerationsphase und Deutschlandlauf nachweisbar ist ( $p < .001$ ).

Die Spektralleistung im HF-Frequenzband, angegeben in  $ms^2$ , zeigte keinen signifikanten Unterschied ( $p = .29$ ) zwischen Deutschlandlauf ( $M = 3786$ ,  $SD = 3031$ ) und Normwertbestimmung ( $M = 2843$ ,  $SD = 927$ ), jedoch signifikante Unterschiede ( $p = .008$ ) zwischen Regenerationsphase ( $M = 1029$ ,  $SD = 1132$ ) und Normwertbestimmung sowie zwischen Regenerationsphase und Deutschlandlauf ( $p < .001$ ).

### 5.3.1.3 Befindlichkeit



*Abb. 217: Mittelwerte der positiven und negativen Befindlichkeitsparameter während der unterschiedlichen Messphasen bei TN1*

Es zeigten sich bei TN1 keine signifikanten Unterschiede der Mittelwerte der positiven Befindlichkeitsparameter ( $F(2,53) = .80$ ,  $p = .46$ ,  $\eta^2 = .03$ ) sowie der Mittelwerte der negativen Befindlichkeitsparameter, ( $F(2,53) = .76$ ,  $p = .47$ ,  $\eta^2 = .03$ ) zwischen den drei Messphasen.



### 5.3.2 TN2

#### 5.3.2.1 Ruheherzfrequenz

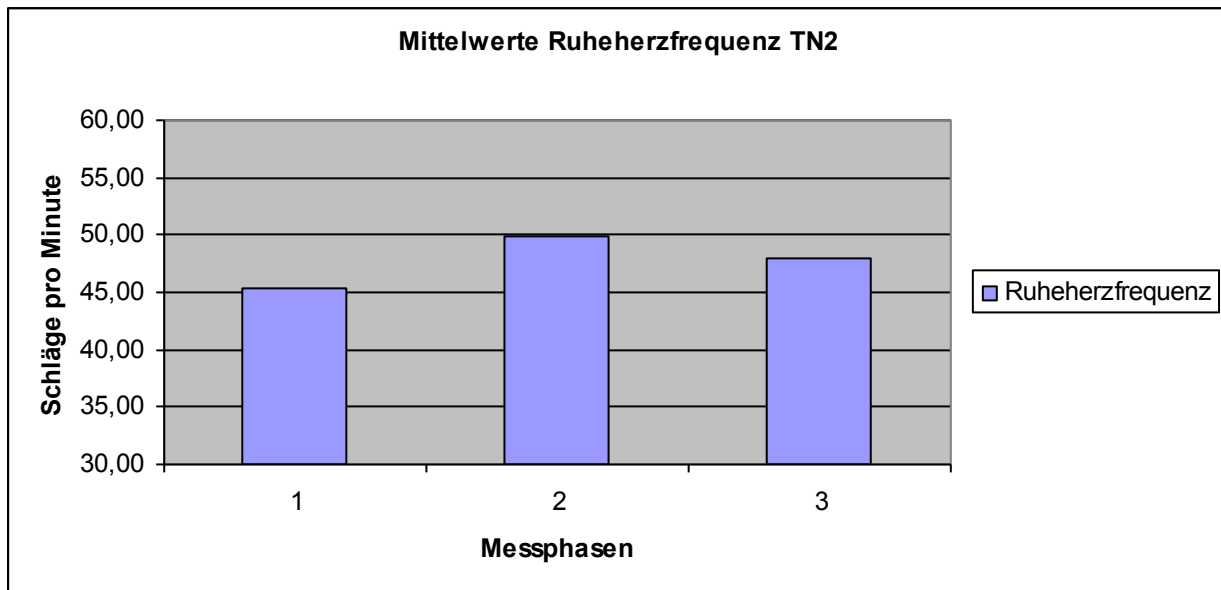


Abb. 218: Mittelwerte der Ruheherzfrequenz während der unterschiedlichen Messphasen bei TN2

Die Mittelwerte der Ruheherzfrequenz während der drei Messphasen unterscheiden sich bei TN2 signifikant:  $F(2,31) = 3,82$ ,  $p < .05$ ,  $\eta^2 = .20$ . Post hoc Tests (Scheffé) zeigten, dass die Unterschiede der Ruheherzfrequenz allerdings lediglich zwischen Deutschlandlauf (Messphase 2) und Normwertbestimmung (Messphase 1) signifikant sind ( $M = 49,89$ ,  $SD = 5,24$  vs.  $M = 45,31$ ,  $SD = 2,79$ ,  $p = .04$ ), nicht jedoch zwischen Deutschlandlauf und Regenerationsphase ( $p = .49$ ) sowie zwischen Regenerationsphase und Normwertbestimmung ( $p = .20$ ).

## 5.3.2.2 Parameter der Herzfrequenzvariabilität

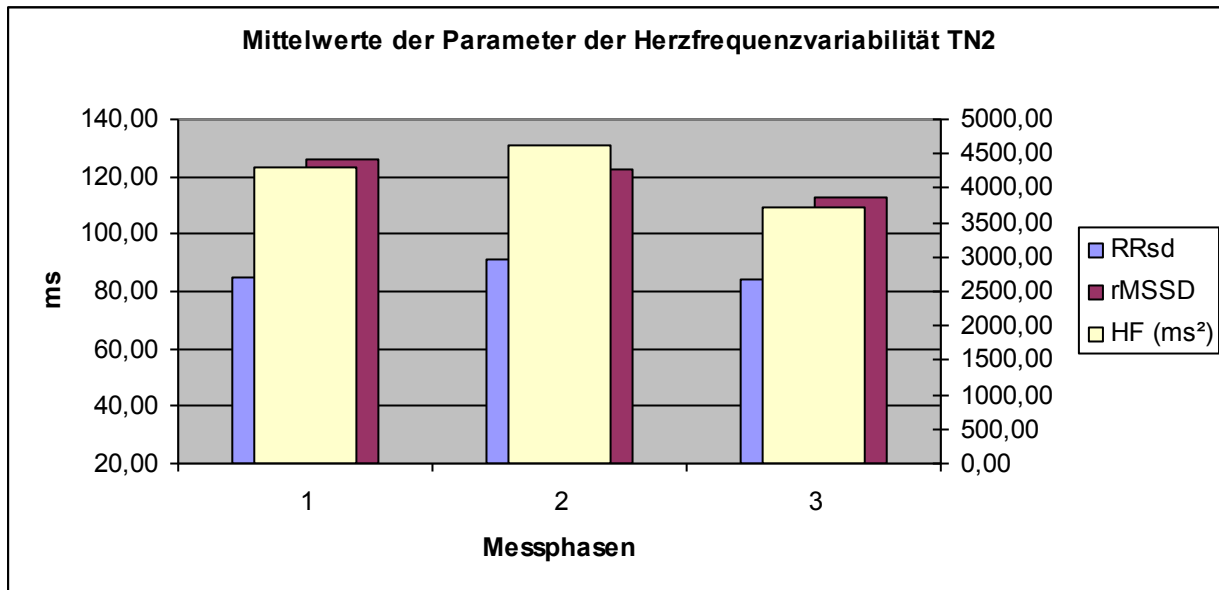


Abb. 219: Mittelwerte der Parameter der Herzfrequenzvariabilität während der unterschiedlichen Messphasen bei TN2

Die Messphasen und damit die Belastungsindizes des Sportlers zeigten keinen signifikanten Effekt auf die Höhe des RRsd ( $F(2,31) = .55$ ,  $p = .59$ ,  $\eta^2 = .03$ ), des rMSSD ( $F(2,31) = 2.23$ ,  $p = .12$ ,  $\eta^2 = .13$ ) und die Spektralleistung im HF-Frequenzband ( $F(2,31) = 1.04$ ,  $p = .37$ ,  $\eta^2 = .06$ ).

### 5.3.2.3 Befindlichkeit

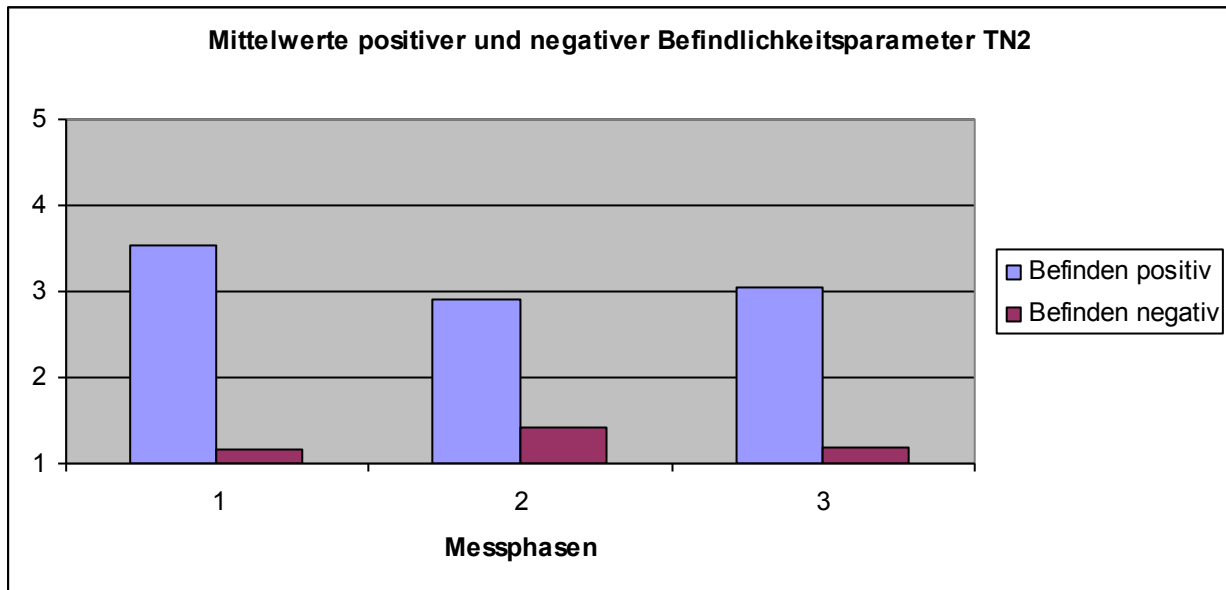


Abb. 220: Mittelwerte der positiven und negativen Befindlichkeitsparameter während der unterschiedlichen Messphasen bei TN2

Es zeigen sich bei TN2 signifikante Unterschiede der Mittelwerte der positiven Befindlichkeitsparameter ( $F(2,32) = 14.45$ ,  $p < .001$ ,  $\eta^2 = .48$ ) sowie der Mittelwerte der negativen Befindlichkeitsparameter ( $F(2,32) = 5.65$ ,  $p < .05$ ,  $\eta^2 = .26$ ) während der drei Messphasen.

Post hoc Tests (Scheffé) dokumentierten einen signifikanten Unterschied ( $p < .001$ ) zwischen der Höhe der positiven Befindlichkeitsparameter während der Normwertbestimmung und dem Deutschlandlauf ( $M = 3.53$ ,  $S = 0.28$  vs.  $M = 2.92$ ,  $S = 0.27$ ) sowie zwischen Regenerationsphase und Normwertbestimmung ( $M = 3.53$ ,  $S = 0.28$  vs.  $M = 3.04$ ,  $S = 0.29$ ,  $p < .001$ ), jedoch keinen signifikanten Unterschied zwischen Deutschlandlauf und Regenerationsphase ( $p = .64$ ).

Die Höhe der negativen Befindlichkeitsparameter unterscheidet sich signifikant ( $p = .01$ ) zwischen Normwertbestimmung und Deutschlandlauf ( $M = 1.16$ ,  $S = 0.22$  vs.  $M = 1.43$ ,  $S = 0.13$ ) sowie zwischen Deutschlandlauf und Regenerationsphase ( $M = 1.43$ ,  $S = 0.13$  vs.  $M = 1.19$ ,  $S = 0.17$ ,  $p = .02$ ), nicht jedoch zwischen Normwertbestimmung und Regenerationsphase ( $p = .91$ ).

### 5.3.3 TN3

#### 5.3.3.1 Ruheherzfrequenz

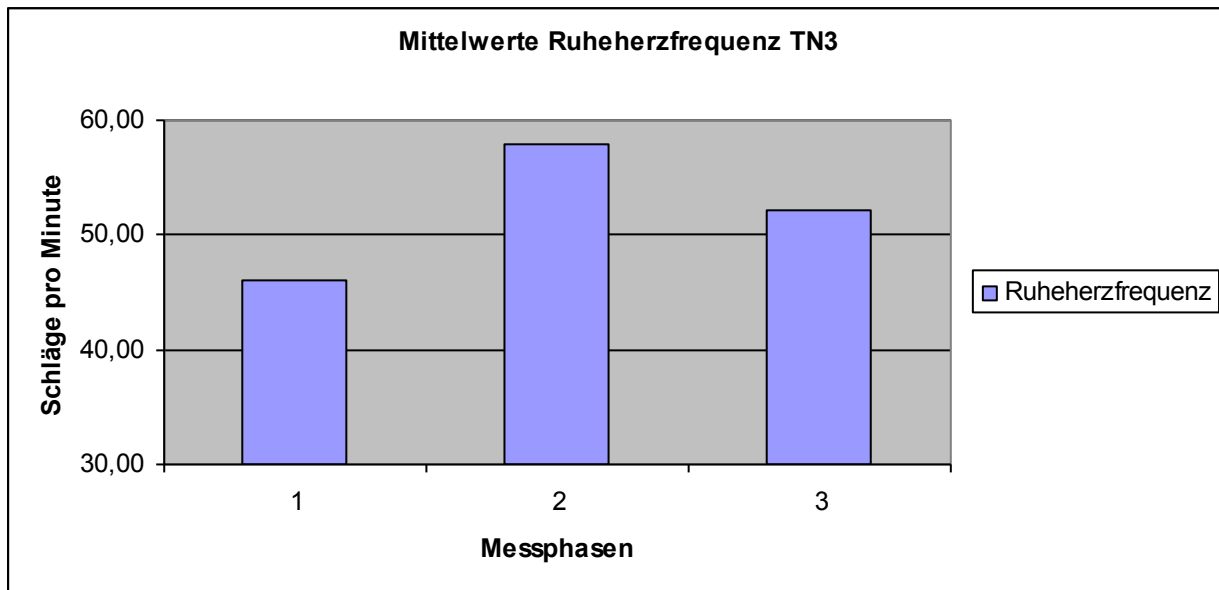


Abb. 221: Mittelwerte der Ruheherzfrequenz während der unterschiedlichen Messphasen bei TN3

Die Mittelwerte der Ruheherzfrequenz während der drei Messphasen unterscheiden sich bei TN3 signifikant:  $F(2,22) = 14.61$ ,  $p < .001$ ,  $\eta^2 = .57$ . Post hoc Tests (Scheffé) zeigten signifikant höhere Ruheherzfrequenzwerte während des Deutschlandlaufs im Vergleich zu Normwertbestimmung ( $M = 57,95$ ,  $SD = 9,63$  vs.  $M = 46,05$ ,  $SD = 3,08$ ,  $p = .001$ ) sowie während der Regenerationsphase im Vergleich zur Normwertbestimmung ( $M = 52,16$ ,  $SD = 2,68$  vs.  $M = 46,05$ ,  $SD = 3,08$ ,  $p = .002$ ). Die Höhe der Ruheherzfrequenz während des Deutschlandlaufs unterscheidet sich nicht signifikant von der folgenden Regenerationsphase ( $p = .117$ ).

### 5.3.3.2 Parameter der Herzfrequenzvariabilität

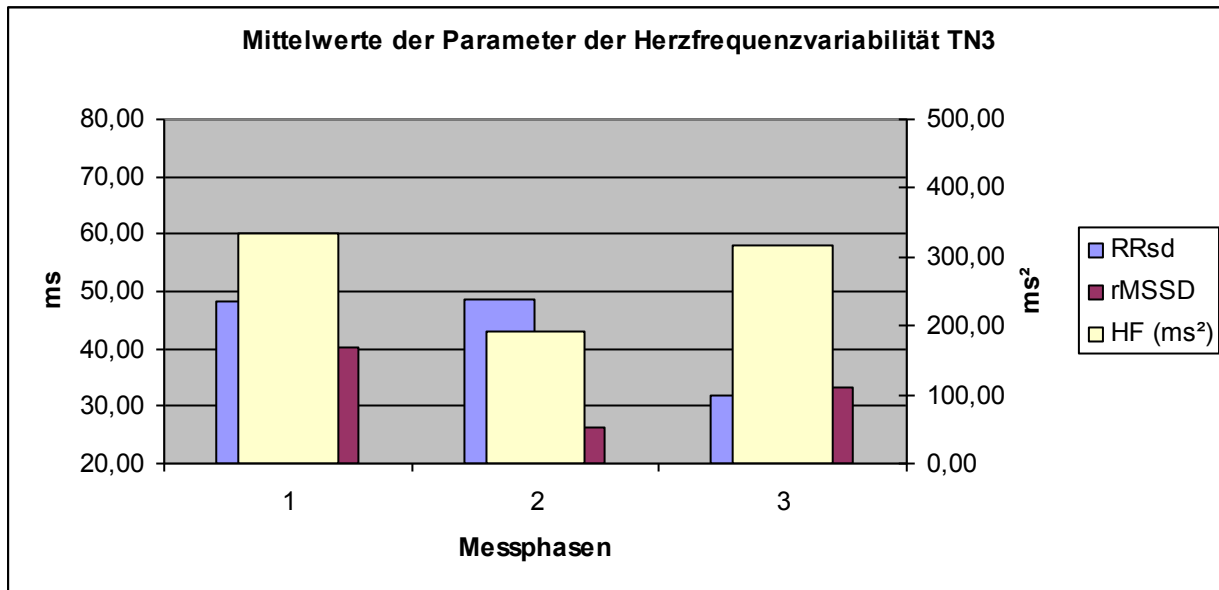


Abb. 222: Mittelwerte der Parameter der Herzfrequenzvariabilität während der unterschiedlichen Messphasen bei TN3

Die Messphasen und damit die unterschiedlichen Belastungsindizes des Sportlers als unabhängige Variablen zeigten keinen signifikanten Einfluss auf die Höhe der Spektralleistung im HF-Frequenzband ( $F(2,22) = .34$ ,  $p = .72$ ,  $\eta^2 = .03$ ) sowie in Bezug auf den Zeitbereichsparameter rMSSD ( $F(2,22) = 1.75$ ,  $p = .20$ ,  $\eta^2 = .14$ ), jedoch einen signifikanten Effekt auf den Parameter RRsd ( $F(2,22) = 5.27$ ,  $p < .05$ ,  $\eta^2 = .32$ ).

Dieser ist während der Regenerationsphase verglichen mit den Werten der Normwertbestimmung signifikant erniedrigt ( $M = 31.95$ ,  $S = 9.17$  vs.  $M = 48.31$ ,  $S = 12.94$ ,  $p = .02$ ), zeigt jedoch aufgrund der geringen Anzahl an Messtagen während des Deutschlandlaufs keine signifikanten Unterschiede zwischen Deutschlandlauf und Regenerationsphase ( $p = .25$ ) sowie zwischen Normwertbestimmung und Deutschlandlauf ( $p = 1.0$ ).

## 5.3.3.3 Befindlichkeit

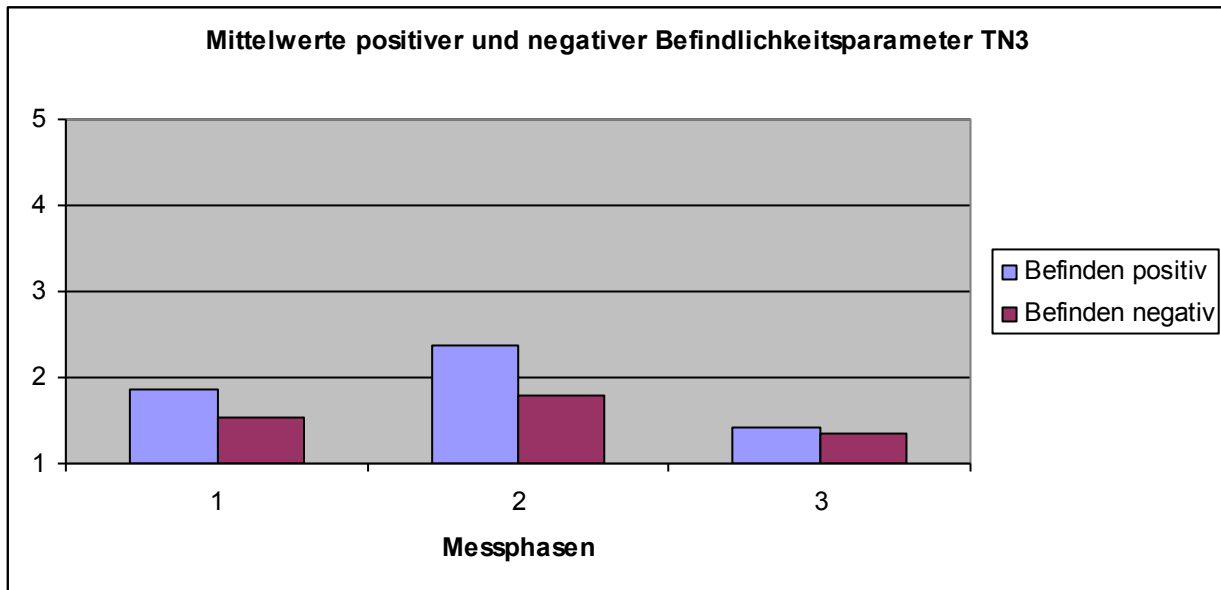


Abb. 223: Mittelwerte der positiven und negativen Befindlichkeitsparameter während der unterschiedlichen Messphasen bei TN3

Es zeigen sich bei TN3 signifikante Unterschiede der Mittelwerte der positiven Befindlichkeitsparameter ( $F(2,26) = 4.15$ ,  $p < .05$ ,  $\eta^2 = .24$ ) sowie der Mittelwerte der negativen Befindlichkeitsparameter ( $F(2,26) = 4.07$ ,  $p < .05$ ,  $\eta^2 = .24$ ) während der drei Messphasen.

Post hoc Tests (Scheffé) dokumentieren einen signifikanten Unterschied ( $p = .045$ ) zwischen der Höhe der positiven Befindlichkeitsparameter während des Deutschlandlaufs und während der Regenerationsphase ( $M = 2.38$ ,  $S = 1.78$  vs.  $M = 1.42$ ,  $S = 1.35$ ), jedoch keinen signifikanten Unterschied zwischen Normwertbestimmung und Deutschlandlauf ( $p = .35$ ) bzw. zwischen Normwertbestimmung und Regenerationsphase ( $p = .17$ ).

Die Höhe der negativen Befindlichkeitsparameter unterscheidet sich ebenso signifikant ( $p = .049$ ) zwischen Deutschlandlauf und Regenerationsphase ( $M = 1.78$ ,  $S = 0.28$  vs.  $M = 1.35$ ,  $S = 0.25$ ), jedoch nicht zwischen Normwertbestimmung und Deutschlandlauf ( $p = .37$ ) bzw. zwischen Normwertbestimmung und Regenerationsphase ( $p = .17$ ).

### 5.3.4 TN4

#### 5.3.4.1 Ruheherzfrequenz

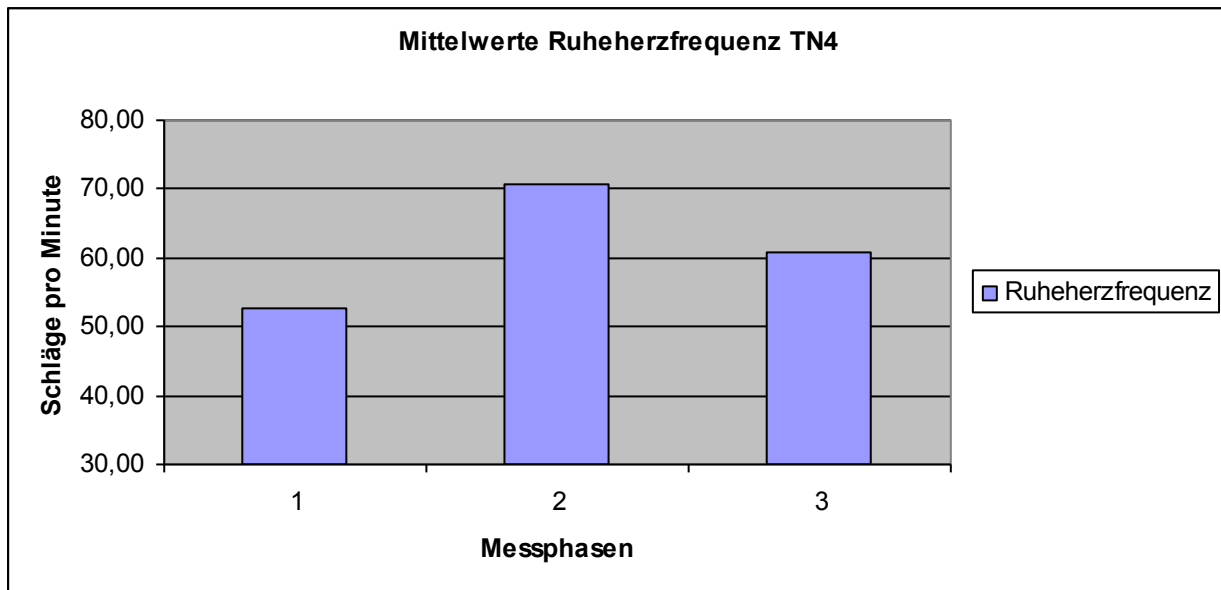


Abb. 224: Mittelwerte der Ruheherzfrequenz während der unterschiedlichen Messphasen bei TN4

Die Mittelwerte der Ruheherzfrequenz während der drei Messphasen unterscheiden sich bei TN4 signifikant:  $F(2,31) = 80,10$ ,  $p < .001$ ,  $\eta^2 = .84$ . Post hoc Tests (Scheffé) zeigten eine signifikant erhöhte Ruheherzfrequenz während des Deutschlandlaufs sowohl im Vergleich zur Normwertbestimmung ( $M = 70.63$ ,  $SD = 4.32$  vs.  $M = 52.66$ ,  $SD = 2.26$ ,  $p < .001$ ) als auch im Vergleich zur Regenerationsphase ( $M = 70.63$ ,  $SD = 4.32$  vs.  $M = 60.80$ ,  $SD = 2.83$ ,  $p < .001$ ). Die Ruheherzfrequenz während der Regenerationsphase wiederum unterscheidet sich signifikant vom Mittelwert während der Normwertbestimmung ( $p < .001$ ).

## 5.3.4.2 Parameter der Herzfrequenzvariabilität

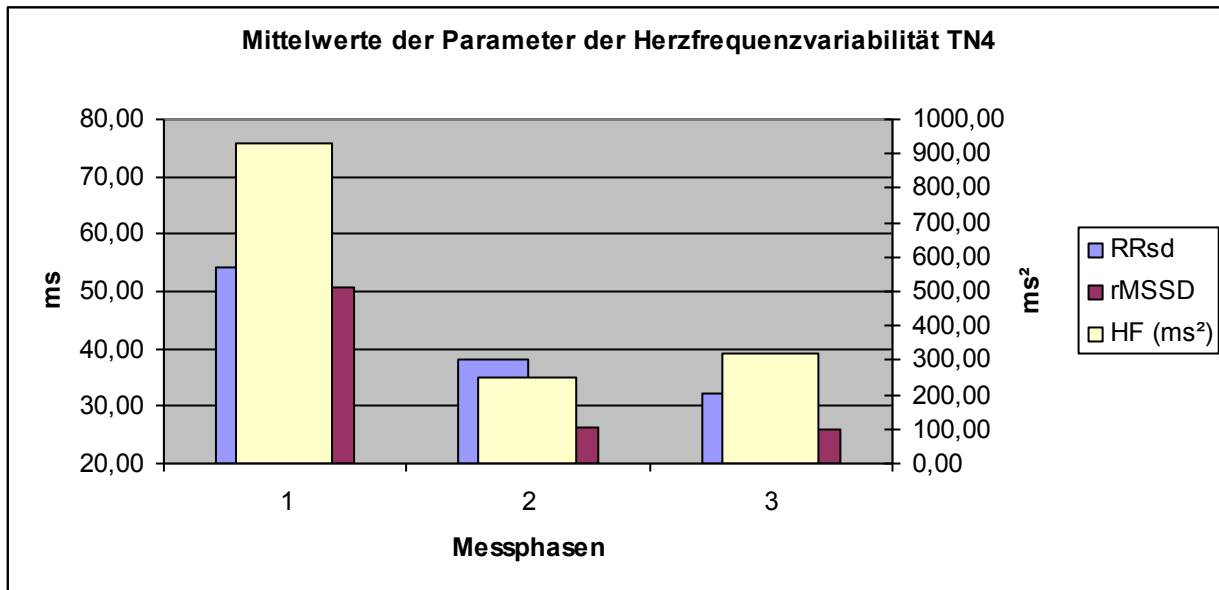


Abb. 225: Mittelwerte der Parameter der Herzfrequenzvariabilität während der unterschiedlichen Messphasen bei TN4

Die Messphasen und damit die unterschiedlichen Belastungsindizes des Sportlers zeigten einen signifikanten Effekt auf die Höhe des RRsd ( $F(2,31) = 15.96$ ,  $p < .001$ ,  $\eta^2 = .51$ ), des rMSSD ( $F(2,31) = 35.82$ ,  $p < .001$ ,  $\eta^2 = .70$ ) sowie die Spektralleistung im HF-Frequenzband ( $F(2,31) = 35.86$ ,  $p < .001$ ,  $\eta^2 = .70$ ).

Der RRsd Wert ist während des Deutschlandlaufs und während der Regenerationsphase signifikant niedriger als während der Normwertbestimmung ( $M = 38.07$ ,  $S = 9.91$  vs.  $M = 54.36$ ,  $S = 13.61$ ,  $p < .05$ ;  $M = 32.30$ ,  $S = 6.95$  vs.  $M = 54.36$ ,  $S = 13.61$ ,  $p < .001$ ), unterscheidet sich jedoch nicht zwischen Deutschlandlauf und Regenerationsphase ( $p = .53$ ).

Der rMSSD ist ebenso während des Deutschlandlaufs und der nachfolgenden Regenerationsphase im Vergleich zur Normwertbestimmung signifikant erniedrigt ( $M = 26.18$ ,  $S = 6.53$  vs.  $M = 50.65$ ,  $S = 10.13$ ,  $p < .001$ ;  $M = 26.08$ ,  $S = 6.79$  vs.  $M = 50.65$ ,  $S = 10.13$ ,  $p < .001$ ) und zeigt keinen Unterschied zwischen Deutschlandlauf und Regenerationsphase ( $p = 1.00$ ).

Die Spektralleistung im HF-Frequenzband ist während des Deutschlandlaufs und der Regenerationsphase im Vergleich zur Normwertbestimmung signifikant erniedrigt ( $M = 252.47$ ,  $S = 111.31$  vs.  $M = 931.08$ ,  $S = 279.08$ ,  $p < .001$ ;  $M = 317.58$ ,  $S = 168.61$  vs.  $M = 931.08$ ,  $S = 279.08$ ,  $p < .001$ ), ein signifikanter Unterschied zwischen Deutschlandlauf und Regenerationsphase liegt nicht vor ( $p = .82$ ).



### 5.3.4.3 Befindlichkeit

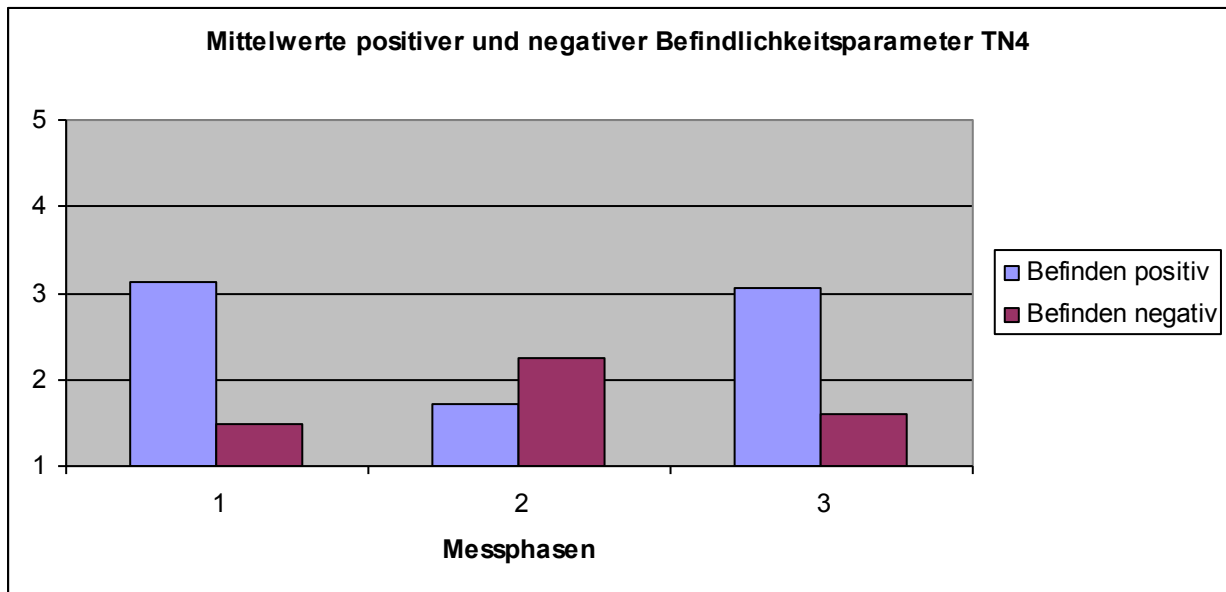


Abb. 226: Mittelwerte der positiven und negativen Befindlichkeitsparameter während der unterschiedlichen Messphasen bei TN4

Es zeigen sich bei TN4 signifikante Unterschiede der Mittelwerte der positiven Befindlichkeitsparameter ( $F(2,34) = 30.35$ ,  $p < .001$ ,  $\eta^2 = .64$ ) sowie der Mittelwerte der negativen Befindlichkeitsparameter ( $F(2,34) = 10.22$ ,  $p < .001$ ,  $\eta^2 = .38$ ) während der drei Messphasen.

Post hoc Tests (Scheffé) dokumentierten eine signifikante Erniedrigung des Mittelwerts der positiven Befindlichkeitsparameter während des Deutschlandlaufs im Vergleich zur Normwertbestimmung und zur Regenerationsphase ( $M = 1.72$ ,  $S = 0.52$  vs.  $M = 3.13$ ,  $S = 0.28$ ,  $p < .001$ ;  $M = 1.72$ ,  $S = 0.52$  vs.  $M = 3.05$ ,  $S = 0.51$ ,  $p < .001$ ). Die positiven Befindlichkeitsparameter erreichen während der Regenerationsphase das Niveau der Normwertbestimmung und unterscheiden sich damit zwischen diesen Messphasen nicht ( $p = .90$ ).

Die Höhe der negativen Befindlichkeitsparameter unterscheidet sich nach dem gleichen Muster während der Messphasen. Die Werte während des Deutschlandlaufs sind im Vergleich zur Normwertbestimmung ( $M = 2.24$ ,  $S = 0.48$  vs.  $M = 1.50$ ,  $S = 0.38$ ,  $p = .001$ ) und im Vergleich zur Regenerationsphase ( $M = 2.24$ ,  $S = 0.48$  vs.  $M = 1.59$ ,  $S = 0.33$ ,  $p = .002$ ) signifikant erniedrigt und unterscheiden sich zwischen Normwertbestimmung und Regenerationsphase nicht ( $p = .81$ ).

### 5.3.5 TN5

#### 5.3.5.1 Ruheherzfrequenz

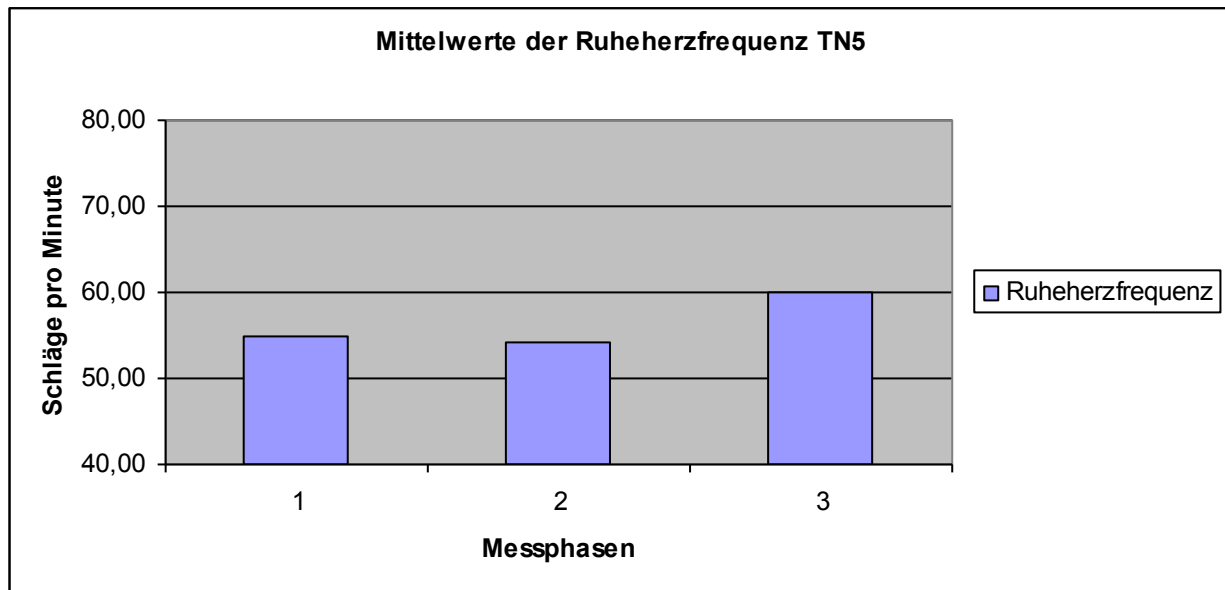


Abb. 227: Mittelwerte der Ruheherzfrequenz während der unterschiedlichen Messphasen bei TN5

Die Mittelwerte der Ruheherzfrequenz während der drei Messphasen unterscheiden sich bei TN5 signifikant:  $F(2,27) = 10.15$ ,  $p < .05$ ,  $\eta^2 = .43$ . Post hoc Tests (Scheffé) zeigen eine erhöhte Ruheherzfrequenz während der Regenerationsphase im Vergleich zur Normwertbestimmung ( $M = 59.91$ ,  $SD = 2.58$  vs.  $M = 54.93$ ,  $SD = 2.10$ ,  $p = .002$ ) und im Vergleich zum Deutschlandlauf ( $M = 59.91$ ,  $SD = 2.58$  vs.  $M = 54.20$ ,  $SD = 2.29$ ,  $p = .001$ ). Die Mittelwerte der Ruheherzfrequenz zeigen keine signifikanten Unterschiede zwischen Normwertbestimmung und Deutschlandlauf ( $p = .71$ ).

### 5.3.5.2 Parameter der Herzfrequenzvariabilität

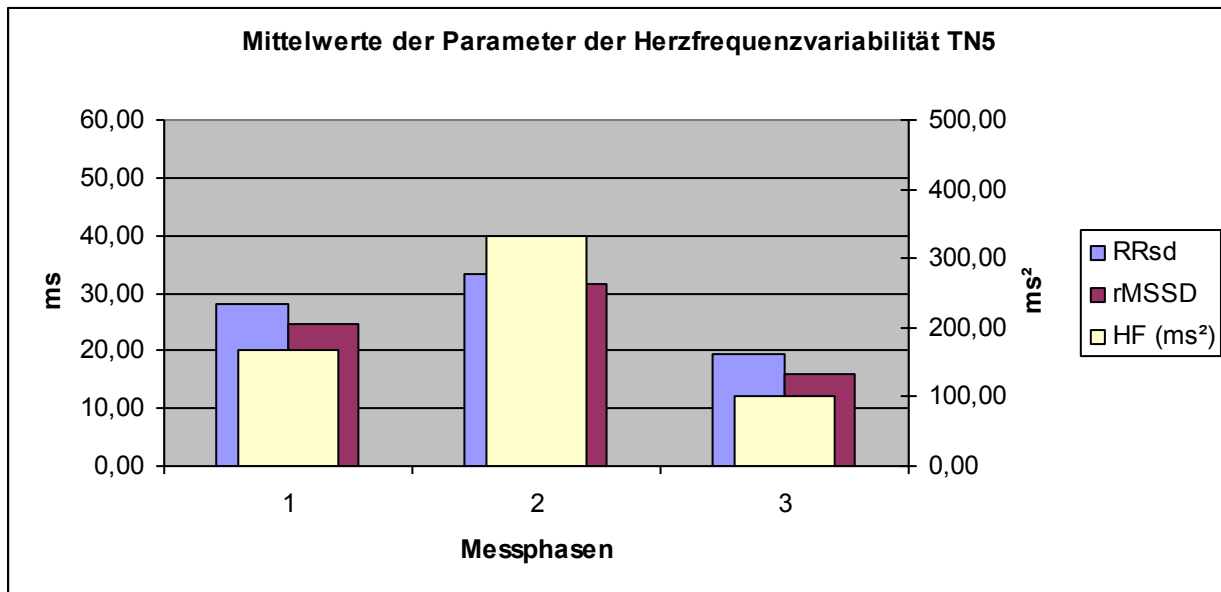


Abb. 228: Mittelwerte der Parameter der Herzfrequenzvariabilität während der unterschiedlichen Messphasen bei TN5

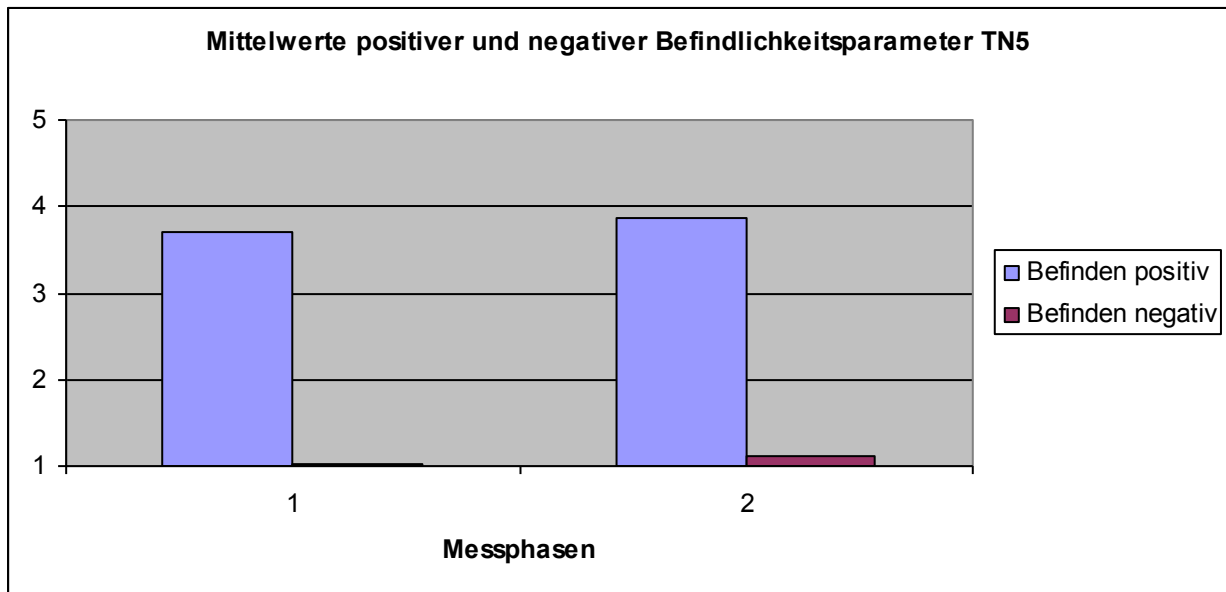
Die Messphasen und damit die variierenden Belastungsindizes des Sportlers zeigten einen signifikanten Effekt auf die Höhe des RRsd ( $F(2,27) = 6.25$ ,  $p < .05$ ,  $\eta^2 = .32$ ), des rMSSD ( $F(2,27) = 7.24$ ,  $p < .05$ ,  $\eta^2 = .35$ ) sowie auf die Spektralleistung im HF-Frequenzband ( $F(2,27) = 3.90$ ,  $p < .05$ ,  $\eta^2 = .22$ ) über die Messphasen.

Der RRsd Wert ist während der Regenerationsphase im Vergleich zum Mittelwert während des Deutschlandlaufs signifikant erniedrigt ( $M = 19.34$ ,  $S = 3.61$  vs.  $M = 33.25$ ,  $S = 8.71$ ,  $p = .007$ ), es zeigen sich keine signifikanten, jedoch tendenzielle Unterschiede zwischen Regenerationsphase und Normwertbestimmung ( $p = .09$ ) sowie keine signifikanten Unterschiede zwischen Deutschlandlauf und Normwertbestimmung ( $p = .20$ ).

Auch der Mittelwert des rMSSD ist während der Regenerationsphase im Vergleich zum Deutschlandlauf signifikant erniedrigt ( $M = 16.04$ ,  $S = 0.88$  vs.  $M = 31.54$ ,  $S = 10.77$ ,  $p = .004$ ) sowie während des Deutschlandlaufs im Vergleich zur Normwertbestimmung tendenziell erhöht ( $p = .08$ ). Zwischen Normwertbestimmung und Regenerationsphase zeigt der rMSSD keinen signifikanten Unterschied ( $p = .13$ ).

Die Spektralleistung im HF-Band ist während des Deutschlandlaufs im Vergleich zur Normwertbestimmung tendenziell erhöht ( $M = 333.05$ ,  $S = 267.50$  vs.  $M = 167.81$ ,  $S = 73.40$ ,  $p = .08$ ), ebenso im Vergleich zur Regenerationsphase ( $p = .096$ ). Zwischen Normwertbestimmung und Regenerationsphase konnte kein signifikanter Unterschied nachgewiesen werden ( $p = .80$ ).

## 5.3.5.3 Befindlichkeit



*Abb. 229: Mittelwerte der positiven und negativen Befindlichkeitsparameter während der unterschiedlichen Messphasen bei TN5*

Es zeigten sich bei TN5 signifikante Unterschiede der Mittelwerte der positiven Befindlichkeitsparameter ( $F(1,29) = 15.56$ ,  $p < .001$ ,  $\eta^2 = .35$ ) sowie der Mittelwerte der negativen Befindlichkeitsparameter ( $F(1,29) = 11.53$ ,  $p < .05$ ,  $\eta^2 = .28$ ;  $p = .002$ ) zwischen der Normwertbestimmung und dem Deutschlandlauf. Während der Regenerationsphase verzichtete der Teilnehmer auf die Bearbeitung der Befindlichkeitsprotokolle, daher liegen zu Messphase 3 keine Daten vor.

### 5.3.6 TN6

#### 5.3.6.1 Ruheherzfrequenz

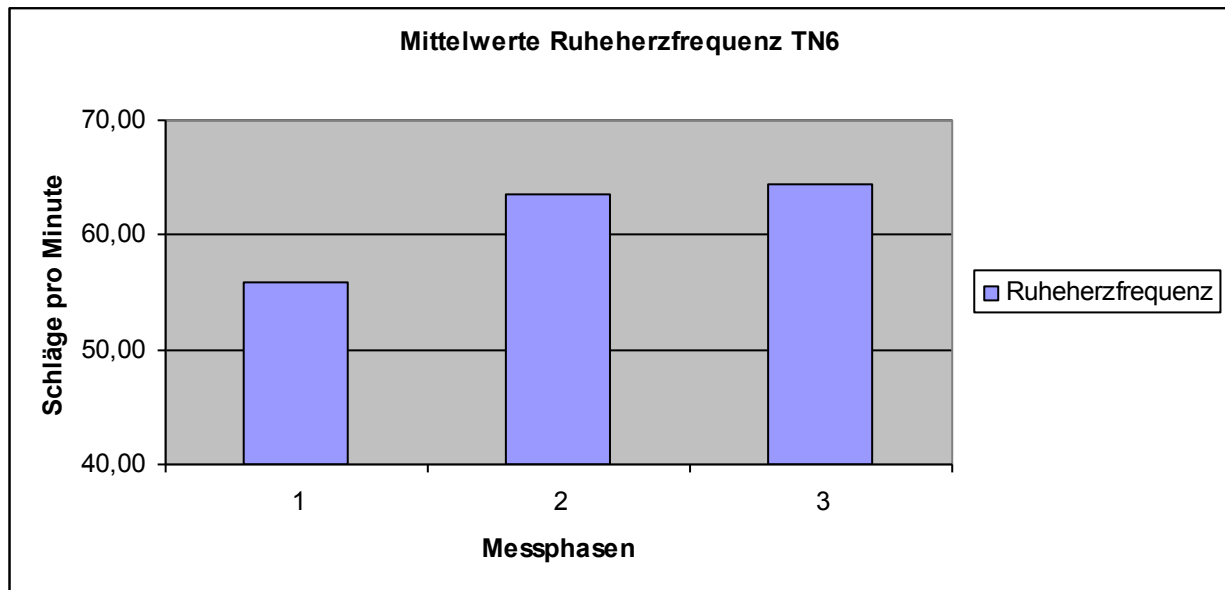


Abb. 230: Mittelwerte der Ruheherzfrequenz während der unterschiedlichen Messphasen bei TN6

Die Mittelwerte der Ruheherzfrequenz während der drei Messphasen unterscheiden sich bei TN6 signifikant:  $F(2,30) = 9,83$ ,  $p < .05$ ,  $\eta^2 = .40$ . Post hoc Tests (Scheffé) zeigten, dass der Deutschlandlauf (Messphase 2), und damit der erhöhte Belastungsindex des Sportlers, mit einer im Vergleich zur Normwertbestimmung signifikant erhöhten Ruheherzfrequenz einherging ( $M = 55,94$ ,  $SD = 4,32$  vs.  $M = 63,62$ ,  $SD = 3,74$ ,  $p = .01$ ). Diese unterscheidet sich während der Regenerationsphase ( $M = 64,41$ ,  $SD = 7,00$ ) noch stärker von den Werten der Normwertbestimmung ( $p = .001$ ). Die Mittelwerte der Ruheherzfrequenz während des Deutschlandlaufs und der Regenerationsphase zeigen hingegen keinen signifikanten Unterschied ( $p = .95$ ).

## 5.3.6.2 Parameter der Herzfrequenzvariabilität

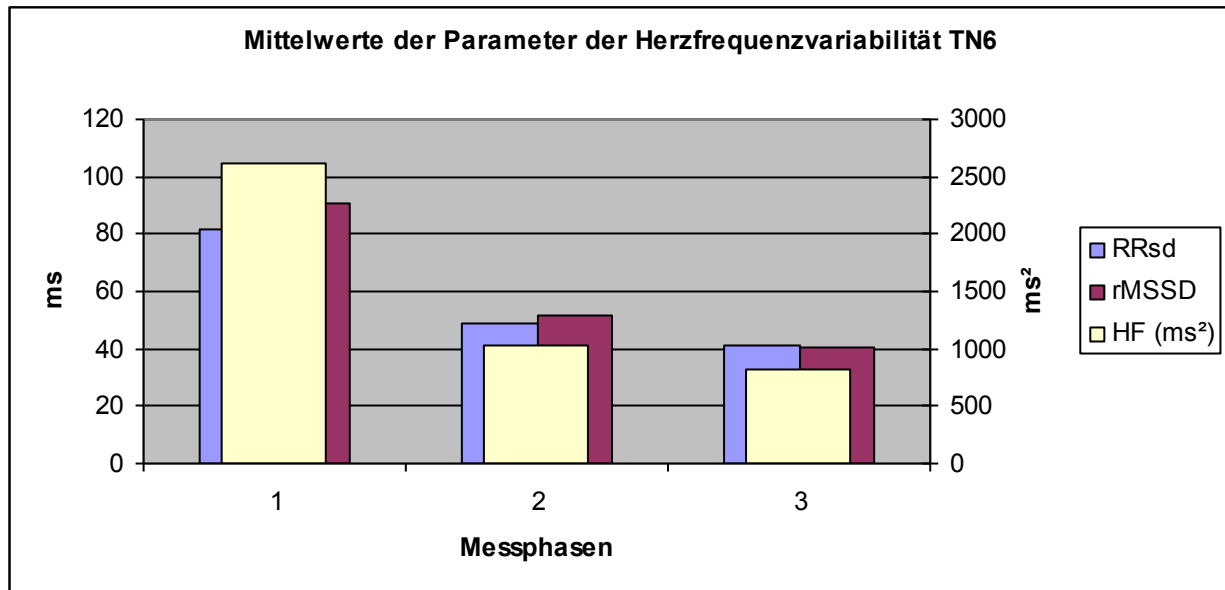


Abb. 231: Mittelwerte der Parameter der Herzfrequenzvariabilität während der unterschiedlichen Messphasen bei TN6

Die Messphasen und damit der Belastungsindex des Sportlers haben einen signifikanten Effekt auf die Höhe des RRsd ( $F(2,30) = 8,16$ ,  $p < .05$ ,  $\eta^2 = .35$ ), des rMSSD ( $F(2,30) = 7,41$ ,  $p < .05$ ,  $\eta^2 = .33$ ) und auf die Spektralleistung im HF-Bereich ( $F(2,30) = 5,04$ ,  $p < .05$ ,  $\eta^2 = .25$ ).

Post hoc Tests (Scheffé) zeigten einen signifikanten Unterschied ( $p = .04$ ) in der Höhe des RRsd Wertes zwischen Normwertbestimmung ( $M = 81,83$ ,  $SD = 30,08$ ) und Deutschlandlauf ( $M = 49,00$ ,  $SD = 27,25$ ) sowie einen signifikanten Unterschied ( $p = .003$ ) zwischen Normwertbestimmung und Regenerationsphase ( $M = 41,02$ ,  $SD = 21,83$ ), jedoch keinen signifikanten Unterschied zwischen der Höhe des RRsd während der Regenerationsphase ( $M = 41,02$ ,  $SD = 21,83$ ) im Vergleich zum Deutschlandlauf ( $M = 49,00$ ,  $SD = 27,25$ ,  $p = .83$ ).

Die Höhe des rMSSD Wertes zeigte keinen signifikanten, jedoch einen tendenziellen Unterschied ( $p = .06$ ) zwischen Normwertbestimmung ( $M = 90,86$ ,  $SD = 34,74$ ) und Deutschlandlauf ( $M = 51,61$ ,  $SD = 34,08$ ) sowie keinen Unterschied zwischen Regenerationsphase ( $M = 40,62$ ,  $SD = 34,92$ ) und Deutschlandlauf ( $M = 51,61$ ,  $SD = 34,08$ ) ( $p = .81$ ), während ein signifikanter Unterschied ( $p = .004$ ) zwischen Regenerationsphase ( $M = 40,62$ ,  $SD = 34,92$ ) und Normwertbestimmung besteht.

Die Spektralleistung im HF-Frequenzband, angegeben in  $ms^2$ , zeigte keinen signifikanten Unterschied zwischen Deutschlandlauf und Regenerationsphase ( $M = 1031$ ,  $SD = 1059$  vs.  $M = 825$ ,  $SD = 1544$ ,  $p = .96$ ), einen tendenziellen Unterschied ( $p = .099$ ) zwischen Deutschlandlauf und Normwertbestimmung ( $M = 2621$ ,  $SD = 1727$ ) sowie einen signifikanten Unterschied ( $p = .02$ ) zwischen Normwertbestimmung und Regenerationsphase.

## 5.7 Teilnehmerübergreifende Diskussion

Die teilnehmerübergreifende Diskussion der Ergebnisse erfolgt in Orientierung an das in Kapitel 3 dargelegte Metamodell und ist strukturiert nach den auf die Teilnehmer wirkenden Belastungsfaktoren bzw. Stressoren, den ermittelten leistungsdiagnostischen Parametern sowie den auf der Symptomebene während des Deutschlandlaufs und der anschließenden Regenerationsphase dokumentierten Veränderungen. Diese werden für diejenigen Sportler, bei denen für Überbelastungen diagnostisch relevante Parameter (siehe Kapitel 4.7) auftraten bzw. die den Lauf vorzeitig abbrechen mussten, gesondert dargestellt. Im Anschluss erfolgt eine Zusammenfassung der kritischen symptomatischen Veränderungen bei den erfolgreichen Läufern und eine Diskussion dieser vor dem Hintergrund der von Noakes (2000) postulierten Ermüdungsfaktoren (siehe Kapitel 2.3). Abschließend wird auf individuelle Unterschiede auf der Symptomebene eingegangen.

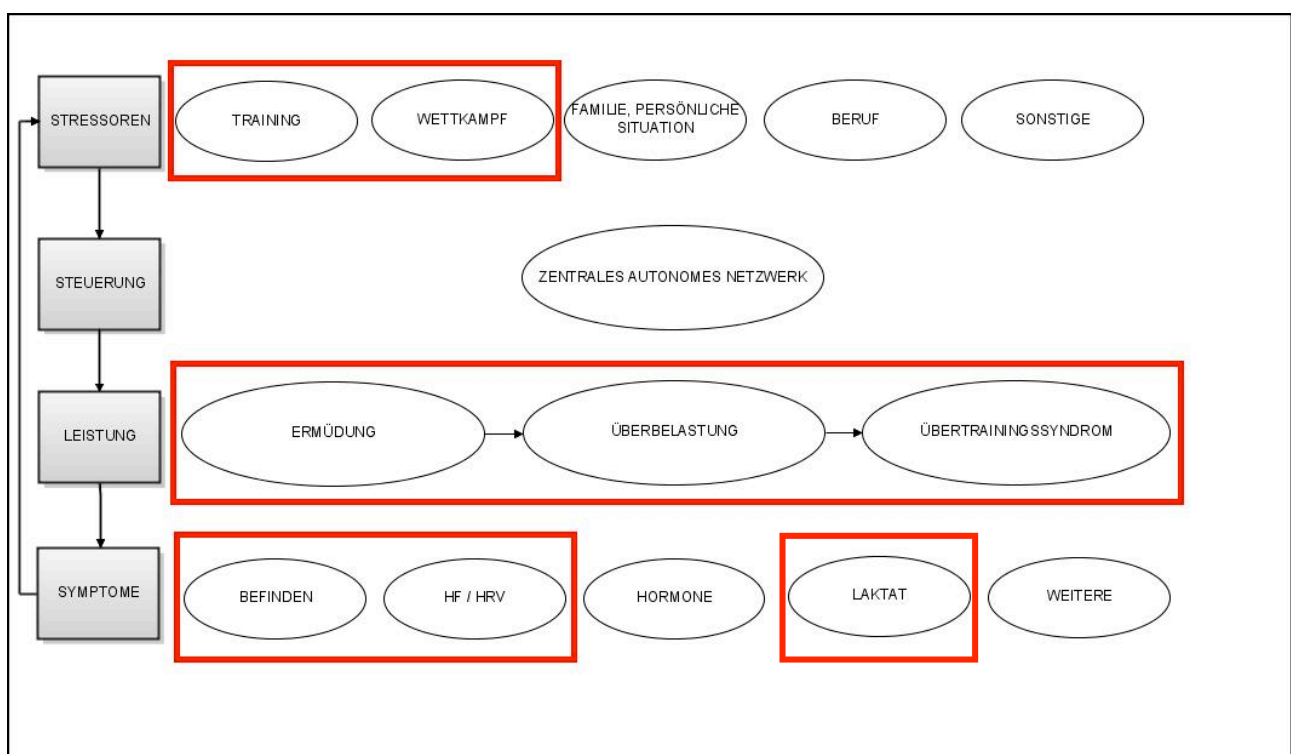


Abb. 232: Einfluss äußerer Stressoren auf die Leistungs- und Symptomebene

### 5.7.1 Stressoren

Der mittlere tägliche Belastungsumfang des Deutschlandlaufs übertraf das Trainingspensum der Sportler während der Normwertbestimmung im Hinblick auf die zurückgelegten täglichen Laufkilometer um 237 % (TN1), 407 % (TN2), 605 % (TN3), 302 % (TN4), 670 % (TN5) bzw. 289 % (TN6).

Legt man den ohnehin sehr hohen Trainingsaufwand der Sportler, die neben ihren beruflichen Verpflichtungen zwischen 50 und 180 Kilometern bzw. 6 bis 20 Stunden wöchentlich trainierten, zugrunde, offenbart sich der immense Belastungsumfang des Deutschlandlaufs von durchschnitt-

lich fast 500 Kilometern pro Woche. Grenzen menschlicher Leistungsfähigkeit im Hinblick auf psychologische, physiologische und orthopädische Aspekte werden während derartiger Wettkampfformen erreicht bzw. überschritten (vgl. Neumann & Berbalk, 2000).

In bisherigen experimentellen Studien wurden die Belastungsumfänge untersuchter Sportler daher lediglich zwischen 38 % und 50 % (vgl. Hedelin, Kenttä et al., 2000; Snyder et al., 1995; Verde et al., 1992), bzw. zwischen 100 % und 130 % erhöht (vgl. Bosquet et al., 2001; Costill et al., 1988; Coutts, Reaburn et al., 2007; Coutts, Wallace et al., 2007; Lehmann, Baumgartl et al., 1991; Lehmann, Gastmann et al., 1991; Lehmann, Schnee et al., 1992; Rietjens et al., 2005; Steinacker et al., 2000; Uusitalo et al., 1998). Umfangreichere Belastungsformen finden sich selten. Lediglich Slivka et al. (2010) untersuchten in einer Feldstudie Radsportler während einer dreiwöchigen Tour, die eine Erhöhung des Trainingsumfangs der Teilnehmer um 418 % beinhaltete.

Das entscheidende Kriterium bei der Diagnose einer Überbelastung, die sportliche Leistungsfähigkeit, bedarf einer zeitlichen Abschätzung, welche eine auf Wettkampfphasen oder Trainingsinterventionen folgende mehrwöchige Regenerationsphase erfordert. Während der an den Deutschlandlauf anschließenden Regenerationszeit trainierten TN2, TN4, TN5 und TN6 aufgrund der erlittenen Verletzungen gar nicht bis kaum, die beiden übrigen Teilnehmer reduzierten ihren Trainingsumfang im Vergleich zur Normwertbestimmung um 52 % (TN1) bzw. 35 % (TN3).

### 5.7.2 Leistung

Ein erstes erkennbares und offensichtliches Leistungskriterium bei den Teilnehmern des Deutschlandlaufs stellt die erfolgreiche Bewältigung aller 17 aufeinanderfolgenden Tagesetappen dar. Zwei Sportler (TN1, TN5) absolvierten den Deutschlandlauf komplett und erreichten das Ziel in Lörrach, wobei sich TN5 am letzten Etappentag einen Muskelfaserriss zuzog. Drei Teilnehmer (TN2, TN4, TN6) brachen den Lauf aufgrund von Verletzungen, ein Teilnehmer (TN3) aufgrund mangelhafter Nahrungsaufnahme und Erschöpfung ab. Bei TN2, TN4 und TN6 zeigte sich eine deutliche und stetige Minderung der Laufgeschwindigkeit im Verlauf der Wettkampfphase.

Die während eines Ultramarathons auftretende Ermüdung führt nach Nicol und Komi (1998) zu biomechanischen und koordinativen Veränderungen, die den Dehnungs- und Verkürzungsmechanismus der Muskulatur beeinflussen und eine zeitliche Verlängerung von Abbrems- und Beschleunigungsbewegungen bedingen (Noakes, 2000). Diese Veränderungen könnten ursächlich mitverantwortlich für das Auftreten von Verletzungen bei lang andauernden Laufbelastungen sein (Komi & Nicol, 2000). Lokale mechanische Muskel- und Gelenkschäden können wiederum systemische Auswirkungen haben und beispielsweise über Interleukine auf zentrale vegetative Funktionen rückwirken (Lakier Smith, 2003; Smith, 2000). Die bei TN2, TN4, TN5 und TN6 aufgetretenen muskulären Probleme könnten also Folge koordinativer Beeinträchtigungen aufgrund einer starken Ermüdung gewesen sein und demnach bei TN2, TN4 und TN6 zu einem vorzeitigen Abbruch des Laufs geführt haben, noch bevor es zu gravierenderen systemischen Beeinträchtigungen kam. Gleichzeitig können diese Verletzungen auch auf zentrale Prozesse gewirkt haben und dementsprechend mit weiteren dokumentierten physiologischen oder psychologischen Veränderungen in Zusammenhang stehen.

Eine mangelhafte Nahrungsaufnahme wie bei TN3 könnte zu einer vorzeitigen Ausschöpfung der Energiespeicher und einer nicht ausreichenden Resynthese von ATP sowie zu einem Mangel an



ATP in den benötigten Muskelzellen geführt und eine vorzeitige Ermüdung bedingt haben (vgl. Nimmo & Ekblom, 2007). Costill et al. (1988) konnten einen Zusammenhang zwischen niedrigen Glykogenspeichern und der Leistungsfähigkeit bei Schwimmern nachweisen. Studien von Rauch et al. (1998) und O'Brien et al. (1993) weisen jedoch darauf hin, dass Ausdauerbelastungen von bis zu sechs Stunden die Glykogenspeicher in Leber und Muskulatur zu nahezu 100 % entleeren. Beide Autorengruppen nennen die Verstoffwechslung von Glykogenspeichern in inaktiven Muskelzellen sowie eine vermehrte Verstoffwechslung von Fettsäuren oder Aminosäuren als mögliche Erklärungen dafür, warum Extrembelastungen im Ausdauerbereich und eine Ausschöpfung der Glykogenvorräte nicht zu einem sofortigen Abbruch führen müssen. Noakes (2000) vermutet möglicherweise bis dato unbekannte Faktoren, die unabhängig von der Glykogenverfügbarkeit Ermüdung bedingen könnten. In vorliegendem Fall erscheint die vom Sportler genannte Erklärung für den Abbruch des Laufs plausibel, schließt jedoch nicht aus, dass weitere Faktoren einen entscheidenden Einfluss bei der Entstehung der Ermüdung hatten.

Die Leistungstests im Anschluss an den Deutschlandlauf konnten nur von drei Teilnehmern durchgeführt werden und zeigten Leistungsminderungen von 4 % (TN1, TN6) bzw. 2,5 % (TN3). Am Ende der Regenerationsphase wurden im Vergleich zu den Eingangstests eine Leistungsstagnation bei TN1, eine Leistungsminderung um 10,5 % bei TN2, um 4 % bei TN6 sowie eine um 7 % gesteigerte Leistungsfähigkeit bei TN3 ermittelt.

Während zwei- bis vierwöchiger Interventionen konnten Baumert et al. (2006) und Coutts, Slattery et al. (2007) Leistungsminderungen von 4 bis 7%, Bosquet et al. (2007) Leistungsminderungen von bis zu 25% bei Ausdauersportlern nachweisen, während in vielen Studien mit ähnlicher Interventionsdauer Leistungsminderungen ausblieben (vgl. Billat et al., 1999; Lehmann et al., 1991; Lehmann, Gastmann et al., 1992; Snyder et al., 1995; Steinacker et al., 2000; Verde & Shephard, 1992).

Folgende diagnostisch relevanten Kriterien einer Überbelastung konnten dokumentiert werden:

- eine Leistungsminderung um 10,5 % beim dritten Leistungstest bei TN2
- ein um 39 % reduzierter maximaler Laktatwert beim dritten Leistungstest bei TN2
- eine um 15 Schläge pro Minute reduzierte maximale Herzfrequenz beim zweiten Leistungstest bei TN3
- ein um 27 % reduzierter maximaler Laktatwert beim dritten Leistungstest bei TN6

### 5.7.3 Symptome

Während des Deutschlandlaufs und der anschließenden Regenerationsphase kam es bei allen Teilnehmern zu Veränderungen auf der Symptomebene. Zunächst soll auf dokumentierte diagnostisch relevante Kriterien einer Überbelastung eingegangen werden, danach auf solche Veränderungen, die den Diagnoseparametern (TN2, TN3 und TN6) bzw. dem Abbruch des Laufs (TN2, TN3, TN4, TN6) vorausgingen. Da TN4 keine Leistungstests absolvierte, konnten bei diesem auch keine leistungsdiagnostisch relevanten Veränderungen festgestellt werden. Im

Anschluss daran werden die symptomatischen Parameterveränderungen der erfolgreichen Läufer dargestellt und diskutiert.

Tabelle 55 gibt einen Überblick über die ermittelten leistungsdiagnostischen Parameter und Veränderungen auf der Symptomebene während des Deutschlandlaufs und der Regenerationsphase im Vergleich zur Normwertbestimmung. Rot eingefärbt sind die bei den Teilnehmern dokumentierten Diagnoseparameter einer Überbelastung nach Kapitel 4.7. Die Zeitbereichsparameter rMSSD und RRsd sowie die Spektralleistung im HF-Band wurden zur Wahrung der Übersichtlichkeit unter HRV zusammengefasst. Traten kritische Ereignisse während des Deutschlandlaufs oder der Regenerationsphase für mindestens einen der genannten Parameter auf, so markieren \* bzw. \*\*, ob die Mittelwerte mindestens eines Parameters während dieser Messphase im Vergleich zur Normwertbestimmung signifikante Unterschiede aufwiesen.

*Tab. 55: Zusammenfassung leistungsdiagnostischer Parameter und symptomatischer Veränderungen während des Deutschlandlaufs und der Regenerationsphase bei erfolgreichen und nicht erfolgreichen Teilnehmern (\*  $p < 0.05$ , \*\*  $p < 0.001$ ).*

	<b>Leistungstest DL</b>	<b>Leistungstest Regeneration</b>	<b>Kritische Ereignisse DL</b>	<b>Kritische Ereignisse Reg</b>
<b>TN1 (erfolgreich)</b>	Leistung ↓ (- 4 %) max. HF → max. lac. ↑ (+ 11 %)	Leistung → max. HF ↑ (+ 6 S/min) max. lac. ↑ (+ 64 %)	Ruhe-HF ↑* HRV ↑	Befindlichkeit ↓ Ruhe-HF ↑** HRV ↓** (alle)
<b>TN5 (erfolgreich)</b>	-	-	Befindlichkeit ↓ HRV ↑ (Tendenz)	Ruhe-HF ↑* HRV ↓ (Tendenz)
<b>TN2 (Abbruch)</b>	-	Leistung ↓ (- 10,5 %) max. HF ↓ (- 5 S/min) max. lac. ↓ (- 39 %)	Befindlichkeit ↓** Ruhe-HF ↑*	Befindlichkeit ↓** Ruhe-HF ↑ HRV ↓
<b>TN3 (Abbruch)</b>	Leistung → (- 2,5 %) max HF ↓ (- 15 S/min) max. lac. →	Leistung ↑ (+ 7 %) max. HF → max. lac. ↑ (+ 118 %)	Ruhe-HF ↑*	Ruhe-HF ↑* HRV ↓* (RRsd)
<b>TN4 (Abbruch)</b>	-	-	Befindlichkeit ↓** Ruhe-HF ↑** HRV ↓**	Ruhe-HF ↑** HRV ↓**

	<b>Leistungstest DL</b>	<b>Leistungstest Regeneration</b>	<b>Kritische Ereignisse DL</b>	<b>Kritische Ereignisse Reg</b>
<b>TN6 (Abbruch)</b>	Leistung ↓ (- 4 %) max. HF ↓ (- 4 S/min) max. lac ↓ (- 12 %)	Leistung ↓ (- 4 %) max. HF ↓ (- 3 S/min) <b>max. lac. ↓</b> <b>(- 27 %)</b>	Ruhe-HF ↑* HRV ↓*	Ruhe-HF ↑* HRV ↓*

#### *Diagnoserelevante Kriterien einer Überbelastung*

Reduzierte maximale Laktatwerte wie bei TN2 und TN6 beim letzten durchgeführten Leistungstest wurden im Zusammenhang mit Leistungsminderungen ebenfalls von Bosquet et al. (2001), Hedelin, Wiklund et al. (2000), Jeukendrup et al. (1992), Krause und Weiß (2002), Urhausen et al. (1998) und Vogel et al. (2001) nachgewiesen. Reduzierte Laktatwerte nach Überlastungen dokumentierten Foster (1998) und Lehmann, Baumgartl et al. (1992) trotz konstanter Leistungsfähigkeit bei Ausdauer- und Freizeitsportlern.

Als Erklärungsansätze für eine verminderte Laktatbildung im Zusammenhang mit Ermüdung gelten reduzierte Glykogenspeicher (vgl. Foster, 1998; Gleeson, 1998; Halson & Jeukendrup, 2004; Janssen, 2001; Schulz et al., 1998; Urhausen & Kindermann, 2002) sowie eine eingeschränkte Fähigkeit der Muskulatur, Laktat zu bilden (vgl. Bosquet et al., 2001). Jeukendrup und Hesselink (1994) nennen als weitere mögliche Ursachen eine Verbesserung der Abbaurate von Laktat als positiven Anpassungsmechanismus, eine verminderte sympathische Regulation des autonomen Nervensystems und eine verminderte Katecholaminsensitivität. Zumindest eine positive Leistungsanpassung sowie eine sympathische Hemmung können bei TN2 und TN6 anhand der leistungsdiagnostischen und kardiologischen Messparameter als Erklärungen für die reduzierten maximalen Laktatwerte ausgeschlossen werden.

Ein Zusammenhang zwischen den bei TN2 und TN6 aufgetretenen Muskelverletzungen und den reduzierten Laktatwerten erscheint auf den ersten Blick unwahrscheinlich, ist jedoch nicht auszuschließen. Gleeson et al. (1998) konnten zwar bei induziertem Muskelkater kurzfristig erhöhte Laktatwerte bei Freizeitsportlern nachweisen. Dennoch nehmen genannte Autoren einen Zusammenhang zwischen muskulären Verletzungen und der Fähigkeit der Muskulatur, Glykogen zu speichern, an.

Um 4 bis 15 Schläge pro Minute reduzierte maximale Herzfrequenzwerte in Verbindung mit reduzierten Leistungsparametern konnten unter anderem Bosquet et al. (2001), Coutts, Reaburn et al. (2007), Coutts, Slattery et al. (2007), Halson et al. (2002), Hedelin, Kenttä et al. (2000), Jeukendrup et al. (1992), Snyder et al. (1995), Uusitalo et al. (1998), Urhausen et al. (1998) und Vogel et al. (2001) nachweisen. Beim Ausbleiben von Leistungsminderungen, wie bei TN3 der Fall, konnten nur wenige Autorengruppen reduzierte maximale Herzfrequenzwerte dokumentieren (vgl. Costill et al., 1988; Coutts, Reaburn et al., 2007; Lehmann, Baumgartl et al., 1992; Saldanha et al., 1997; Verde et al., 1992).

Noakes (2000) nennt als möglichen Grund reduzierter maximaler Herzfrequenzwerte einen zentralen, regulierenden Steuerungsmechanismus, der die Pumpleistung des Herzens steuert, um die Blutzufuhr zum Herz selbst sicherzustellen und einer myokardialen Ischämie vorzubeugen. Somit kommt es zum Abbruch einer Belastung, noch bevor das Herzleistungsvermögen maximal ausgeschöpft wird. Eine solche zentrale Schutzhemmung – die auch mit verminderten maximalen

Laktatwerten in Zusammenhang stehen könnte – würde entsprechend des in dieser Arbeit dargelegten Modells der Steuerungsebene zugeordnet werden und innerhalb eines zentralen autonomen Netzwerks (vgl. Esperer, 2004) modulierend wirken. Noakes (2000) sieht in der Anpassung zentraler Steuerungsprozesse eine mögliche Hauptursache für die Entstehung von Ermüdung und damit einen entscheidenden leistungslimitierenden Faktor, ohne dies jedoch eindeutig belegen zu können.

Zavorsky (2000) nennt als weitere mögliche Ursachen für eine reduzierte maximale Herzfrequenz eine verminderte sympathische Aktivierung und/oder eine parasympathische Hemmung, eine Erhöhung des Blutvolumens, eine gesteigerte Baroreflex-Funktion, eine Zunahme des Herzvolumens, eine verminderte Anzahl und Dichte  $\beta$ -adrenerger Rezeptoren, Veränderungen im myokardialen Zellmetabolismus und elektrophysiologische Anpassungen des Sinusknotens. Katona et al. (1982) sprechen von einer Reduzierung der durch den Sinusknoten generierten Aktionspotenziale. Eine Leistungsminderung als Erklärung für die reduzierte maximale Herzfrequenz bei TN3 heranzuziehen, scheidet in vorliegendem Fall aus. Eine vegetative Umstellung im Sinne eines dominanten Einflusses des Parasympathikus kann anhand der Ruheherzfrequenzwerte und der Parameter der Herzfrequenzvariabilität ebenso ausgeschlossen werden.

#### *Kritische Ereignisse bei Abbrechern (Deutschlandlauf)*

Zur Wahrung der Übersichtlichkeit beschränkt sich die Darstellung der kritischen Ereignisse der Herzfrequenzvariabilität auf die Zeitbereichsparameter rMSSD und RRsd sowie die Spektralleistung im HF-Frequenzband.

- Es kam zu kritischen Verschlechterungen der Befindlichkeit vom zweiten bis achten Wettkampftag (TN2) sowie vom ersten bis achten Wettkampftag (TN4); bei beiden Teilnehmern zeigte sich die Befindlichkeit im Vergleich zur Normwertbestimmung signifikant beeinträchtigt.
- Die Ruheherzfrequenz zeigte vom zweiten bis vierten Wettkampftag (TN2), an sämtlichen Messtagen während des Deutschlandlaufs (TN3, TN4) sowie vom dritten bis achten Wettkampftag (TN6) Werte oberhalb des Normbereichs an; die Mittelwerte der Ruheherzfrequenz während des Deutschlandlaufs unterschieden sich bei diesen Teilnehmern signifikant vom Mittelwert während der Normwertbestimmung.
- Der vagal modulierte Parameter rMSSD und die Spektralleistung im HF-Band bewegten sich bei TN4 an sämtlichen Messtagen des Deutschlandlaufs unterhalb des vordefinierten Normbereichs, bei TN6 zeigten die Parameter rMSSD, RRsd sowie die Spektralleistung im HF-Frequenzband vom dritten bis siebten Wettkampftag kritisch erniedrigte Werte an; bei beiden Teilnehmern waren die Veränderungen der HRV-Parameter während des Deutschlandlaufs im Vergleich zu Normwertbestimmung signifikant.

#### *Kritische Ereignisse bei Abbrechern (Regenerationsphase)*

- Die bereits während des Deutschlandlaufs verschlechterte Befindlichkeit von TN2 blieb die ersten sechs Regenerationstage beeinträchtigt; der Mittelwert der Befindlichkeitsparameter zeigte während der Regenerationsphase ein signifikant erniedrigtes Niveau an.
- Die Ruheherzfrequenzwerte zeigten bei TN2 (10. bis 12. Regenerationstag), TN3 (3. Wettkampftag bis 3. Regenerationstag, 5. bis 12. Regenerationstag), TN4 (1. bis 15.

Regenerationstag) und TN6 (3. bis 10. Regenerationstag) kritisch erhöhte Werte an; bei TN3, TN4 und TN6 war die Ruheherzfrequenz im Vergleich zur Normwertbestimmung signifikant erhöht.

- Der Zeitbereichsparameter RRsd bewegte sich bei TN3 (1. bis 3. und 9. bis 12. Regenerationstag), TN4 (2. bis 5. sowie 9. bis 15. Regenerationstag) und TN6 (3. bis 5. und 8. bis 14. Tag) unterhalb des Normbereichs; bei allen drei Teilnehmern waren die Veränderungen im Vergleich zur Normwertbestimmung signifikant.
- Der Parameter rMSSD war bei TN2 (10. bis 12. Regenerationstag), TN3 (9. bis 12. Regenerationstag), TN4 (an sämtlichen Regenerationstagen) sowie bei TN6 (3. bis 14. Regenerationstag) kritisch erniedrigt; bei TN4 und TN6 waren diese Veränderungen signifikant.
- Die Spektralleistung im HF-Band zeigte sich bei TN2 kritisch (1. bis 4. Regenerationstag), bei TN4 (an sämtlichen Tagen der Regenerationsphase) und TN6 (3. bis 14. Regenerationstag) kritisch und signifikant erniedrigt.

#### *Kritische Ereignisse bei erfolgreichen Teilnehmern (Deutschlandlauf)*

- Die negativen Parameter der Befindlichkeit zeigten bei TN5 vom dritten bis neunten Wettkampftag Werte oberhalb des Normbereichs an, es kam jedoch zu keinen signifikanten Veränderungen im Vergleich zur Normwertbestimmung.
- Die Ruheherzfrequenz überstieg den Normbereich bei TN1 vom ersten bis fünften Wettkampftag und zeigte sich gegenüber der Normwertbestimmung im Mittel signifikant erhöht.
- Die Zeitbereichsparameter RRsd und rMSSD bewegten sich sowohl bei TN1 (7. bis 9. Tag) als auch bei TN5 (8. bis 10. Tag) oberhalb des Normbereichs, ohne dass der Mittelwert eines Parameters im Vergleich zur Normwertbestimmung signifikant verändert war.
- Die Spektralleistung im HF-Frequenzband zeigte bei TN1 (7. bis 11. Tag) und bei TN5 (8. bis 10. Tag) kritisch, jedoch nicht signifikant erhöhte Werte an.

#### *Kritische Ereignisse bei erfolgreichen Teilnehmern (Regenerationsphase)*

- Die negativen Parameter der Befindlichkeit bewegten sich bei TN1 vom vierten bis achten Regenerationstag oberhalb des vordefinierten Grenzwerts, ohne dass es zu signifikanten Veränderungen während der Regenerationsphase kam.
- Die Ruheherzfrequenz war bei TN1 an 19 von 21 Tagen erhöht, bei TN5 an drei von vier Messtagen; bei beiden Teilnehmern wiesen die Werte während der Regenerationsphase im Vergleich zur Normwertbestimmung ein signifikant erhöhtes Niveau auf.
- Bei TN1 zeigten die Parameter RRsd (2. bis 15. Regenerationstag), rMSSD (2. bis 17. Regenerationstag) und die Spektralleistung im HF-Frequenzband (2. bis 17. Regenerationstag) Werte unterhalb des Normbereichs an; die ermittelten Veränderungen während der Regenerationsphase waren bei TN1 signifikant.
- Bei TN5 bewegte sich der Parameter RRsd an drei von vier Messtagen, der Parameter rMSSD an sämtlichen Messtagen unterhalb des Normbereichs; die Veränderungen zeigten eine tendenzielle, aufgrund der geringen Anzahl an Messtagen jedoch keine signifikante Verminderung an.

### *Diskussion Abbrecher*

Die morgendliche Ruheherzfrequenz war bei TN2, TN3, TN4 und TN6 während des Deutschlandlaufs einheitlich signifikant erhöht. Aufgrund lediglich zweier Messtage bei TN3 konnten kritische Ereignisse, in diesem Fall eine über mindestens drei Tage über dem Normbereich liegende Ruheherzfrequenz, lediglich bei TN2, TN4 und TN6 dokumentiert werden. Innerhalb der anschließenden Regenerationsphase zeigte die Ruheherzfrequenz aller Abbrecher kritische Ereignisse an. Bei TN3, TN4 und TN6 war sie im Vergleich zur Normwertbestimmung signifikant erhöht. Auch Baumert et al. (2006) konnten um 6 Schläge pro Minute erhöhte Ruheherzfrequenzwerte bei Ausdauersportlern während eines Trainingslagers dokumentieren, die sich nach wenigen Tagen Regeneration allerdings wieder normalisierten. Gleichzeitig kam es bei den Athleten zu einer 7%igen Leistungsminderung. Demgegenüber zeigte die Ruheherzfrequenz von Sportlern während oder nach hoch intensiven bzw. umfangreichen Belastungsphasen, ohne dass Leistungsminderungen dokumentiert wurden, in bisherigen Studien meist konstante Werte (vgl. Atlaoui et al., 2007; Billat et al., 1999; Earnest et al., 2004; Halson et al., 2002; Jeukendrup et al., 1992; Lehmann, Baumgart et al., 1992; Lehmann, Gastmann et al., 1992; Lehmann, Knizia et al., 1993; Portier et al., 2001; Slivka et al., 2010; Snyder et al., 1995; Urhausen et al., 1998; Uusitalo et al., 1998; Verde et al., 1992; Vogel et al., 2001; Winsley et al., 2005), in einigen Fällen auch erhöhte (Dressendorfer et al., 1985; Iellamo et al., 2002) oder reduzierte Werte (Fry et al., 1994). Ergebnisse einer Metaanalyse von Bosquet et al. (2008) bestätigen den konstanten Charakter der Ruheherzfrequenz auch bei länger als zwei Wochen andauernden Interventionen. Gerade vor diesem Hintergrund erscheint vor allem die Dauer der Erhöhung der Ruheherzfrequenz bei TN3, TN4 und TN6 auffällig. Fry et al. (1994) berichten von einer recht schnellen Normalisierung der Werte innerhalb einer drei- bis viertägigen Regenerationsphase. Slivka et al. (2010) verweisen auf populärwissenschaftliche Quellen, die eine 10%ige Erhöhung der Ruheherzfrequenz als kritisch erachten und als einen Indikator für eine Überbelastung ansehen. Innerhalb einiger Studien wurde daher eine Erhöhung der Ruheherzfrequenz als diagnostisch relevant erachtet (vgl. Schmikli et al., 2010; Slivka et al., 2010; Voigt, 1990), was sich durch vorliegende Ergebnisse rechtfertigen ließe.

Die Herzfrequenzvariabilität zeigte anhand signifikant und kritisch erniedrigter Werte der vagal modulierten Parameter bei TN4 und TN6 während des Deutschlandlaufs eine parasympathische Hemmung und einen dominanten Einfluss der sympathischen Aktivität an, sodass von einer eingeschränkten Regenerationsfähigkeit bei den genannten Teilnehmern ausgegangen werden kann. Dies trifft während der Regenerationsphase für alle Abbrecher (TN2, TN3, TN4 und TN6) zu. Mindestens ein HRV-Parameter zeigte sich bei TN3, TN4 und TN6 dabei im Vergleich zur Normwertbestimmung signifikant erniedrigt. Bei TN4 und TN6 konnten anhand der Veränderungen der Parameter der Herzfrequenzvariabilität eine deutliche und anhaltende autonome Dysbalance und ein dauerhaft reduzierter parasympathischer Einfluss nachgewiesen werden. Für den Beginn und das Ende der Regenerationsphase trifft dies in ebenso deutlicher Form für TN3 zu, in abgeschwächter Form auch für TN2, bei dem die Veränderungen der Herzfrequenzvariabilität allerdings kein signifikantes Niveau erreichten.

Die beschriebenen Anpassungen stehen in Einklang mit Studienergebnissen von Baumert et al. (2006), Berbalk und Bauer (2001), Iellamo et al. (2002) und Winsley et al. (2005), die allesamt eine Abnahme parasympathisch modulierter Parameter der Herzfrequenzvariabilität (rMSSD bzw.

Spektralleistung im HF-Frequenzband) bei Sportlern nach intensiven Trainingsphasen dokumentierten. Pichot et al. (2000) und Portier et al. (2001) konnten reduzierte Werte des sympathisch-parasympathisch modulierten Parameters RRsd und der Spektralleistung im LF-Frequenzband nachweisen.

Die bei den Abbrechern des Deutschlandlaufs dokumentierten Veränderungen der Ruheherzfrequenz und der Herzfrequenzvariabilität zeigen eine unterschiedlich lang andauernde und ausgeprägte autonome Dysbalance an, die bereits während der Wettkampfphase nachzuweisen ist und während der Regenerationsphase immanent bleibt. Solche Funktionsstörungen des Vegetativums (Israel, 1976) könnten Überbelastungen vorausgehen und Leistungsminderungen bedingen (vgl. Uusitalo, 2001). Eine auch von Rietjens et al. (2005) vermutete Beteiligung zentralnervöser und autonomer Prozesse bei der Genese von Überbelastungen steht in Einklang mit Ausführungen von Kuipers (1998), Lehmann et al. (1991), Lehmann, Schnee et al. (1992), Meeusen (1999), Meeusen et al. (2007) sowie Steinacker et al. (2000). Im Zusammenhang mit Ermüdung wirkende zentrale autonome Steuerungsprozesse, die eine Art Schutzmechanismus darstellen könnten, postuliert auch Noakes (2000).

Eine Dysregulation der vegetativen Balance lässt nach Meeusen (1999; vgl. Meeusen et al., 2007) auch Befindlichkeitsverschlechterungen erwarten, wie sie vielfach während umfangreicher Wettkampf- und Trainingsphasen dokumentiert werden konnten (vgl. Anglem et al., 2008; Bosquet et al., 2001; González-Boto et al., 2008; Goss, 1994; O'Connor et al., 1989; Peluso & de Andrade, 2005; Raglin et al., 1991; Steinacker et al., 2000; Uusitalo et al., 1998; Verde & Shephard, 1992).

Da ein allgemeiner Konsens darüber besteht, dass sich zu hohe Belastungsanforderungen negativ auf die Befindlichkeit von Sportlern auswirken (Adams & Kirkby, 2001; Morgan et al., 1987; O'Connor & Puetz, 2005; Peluso & de Andrade, 2005), vor allem dann, wenn es zeitgleich zu Leistungsminderungen kommt (Adams & Kirkby, 2001; Birrer, 2004; Bottomley, 1989; Fry et al., 1991; Fry et al., 1994; Gleeson, 1998; Hollander et al., 1995; Hooper et al., 1995; Kayser & Gremion, 2004; Krause & Weiß, 2002; Lehmann, Foster et al., 1993; Meeusen et al., 2006; Morgan et al., 1987; Nederhof et al., 2008; Pierce, JR., 2002; Raglin & Barzdukas, 1999; Sims, 2001; Steinacker et al., 2000; Teeple et al., 2006; Urhausen & Kindermann, 2002b; Urhausen & Kindermann, 2002a, 2000; Uusitalo, 2001; Vernacchia, 1997), erscheint es nicht überraschend, dass zwei Sportler (TN2, TN4) eine signifikant verschlechterte Befindlichkeit während der Wettkampfphase aufwiesen.

Da TN6 die Bearbeitung der Befindlichkeitsprotokolle während des Deutschlandlaufs einstellte, ließen sich kritische Ereignisse dieses Parameters lediglich bei TN2 und TN4 während des Deutschlandlaufs und bei TN2 während der Regenerationsphase nachweisen.

Im Anschluss an den Deutschlandlauf zeigten vor allem die positiven Parameter der Befindlichkeit bei TN2 und TN4 eine sichtbare und zügige Verbesserung der Stimmungslage an. Zu einer Erholung der Befindlichkeit im Verlauf der an intensive Trainingsphasen anschließenden Regenerationsphasen kommt es häufig (vgl. Coutts, Wallace et al., 2007; Halson et al., 2002; Jeukendrup et al., 1992), sodass die hier dargestellten Beobachtungen grundsätzlich zu erwarten waren.

Eine Verschlechterung der Befindlichkeit kann als Folge einer systemischen Beeinträchtigung auftreten, der auslösende Mechanismus für diese Beeinträchtigung muss jedoch nicht zwangsläufig physiologischer Natur sein (vgl. Bottomley, 1989). So dürften bei TN2 und TN4 auch die aufgetretenen Verletzungen eine Rolle gespielt haben, jedoch kam es zu Veränderungen der Befindlichkeit, noch bevor Verletzungsprobleme in den Verlaufsprotokollen vermerkt wurden. Gleichzeitig ist eine durch emotionale Belastungen verursachte Leistungsbeeinträchtigung nicht auszuschließen (vgl. Kuhl & Schulz, 1986). Nach Meeusen et al. (2006) koinzidieren Befindlichkeitsverschlechterungen häufig mit physiologischen Veränderungen im Zusammenhang mit Überbelastungen und Übertrainingssyndromen. Für TN2 und TN4 trifft dies zu, da bei TN2 zeitgleich (2. bis 4. Wettkampftag) eine Erhöhung der Ruheherzfrequenz, bei TN4 eine verminderte Herzfrequenzvariabilität sowie eine erhöhte Ruheherzfrequenz nachgewiesen werden konnten.

#### *Diskussion erfolgreiche Teilnehmer*

Auch bei TN1 und TN5 zeigten sich kritische Veränderungen der negativen Befindlichkeitsparameter während des Deutschlandlaufs bzw. während der Regenerationsphase. Diese fielen jedoch minimal aus und gingen nicht mit Veränderungen der positiven Befindlichkeitsparameter einher. Aufgrund der sehr konstanten Werte während der Normwertbestimmung führten bei diesen Teilnehmern schon geringfügige Veränderungen zum Auftreten eines kritischen Ereignisses. Die Veränderungen waren nicht signifikant und es muss vor dem Hintergrund der stabilen Werte während des Deutschlandlaufs (TN1, TN5) und während der abschließenden Regenerationsphase (TN1) davon ausgegangen werden, dass bei beiden Teilnehmern die jeweiligen Normbereiche mit der nach Kiviniemi et al. (2007) entwickelten Methode zu eng gefasst wurden. Die stabilen Werte während umfangreicher Wettkampfbelastungen sind überraschend. Aufgrund des immens hohen Belastungsumfangs des Deutschlandlaufs wären auch bei den erfolgreichen Teilnehmern Beeinträchtigungen zu erwarten gewesen, zumal Schulz et al. (2004) nachweisen konnten, dass bereits einmalige maximale Belastungen negative Auswirkungen auf die Stimmungslage haben können und nur wenige Untersuchungen keine Verschlechterung der Befindlichkeit von Sportlern während hoch intensiver Belastungsphasen nachweisen konnten. So dokumentierten Filaire et al. (2004) und Rietjens et al. (2005) während vier Tage bis zwei Wochen andauernder intensiver und umfangreicher Interventionen sowie Slivka et al. (2010) im Verlauf einer dreiwöchigen Feldstudie konstante Befindlichkeitswerte bei den untersuchten Sportlern. Letztgenannte Autoren führen als möglichen Grund an, dass die Lebensbedingungen während eines mehrwöchigen Trainingslagers oder Wettkampfes möglicherweise weitere alltägliche Stressoren minimierten, was sich positiv auf die Regeneration der Teilnehmer auswirken könne.

Die Ruheherzfrequenz von TN1 zeigte während des Deutschlandlaufs im Vergleich zur Normwertbestimmung ein signifikant erhöhtes Niveau. Veränderungen der Ruheherzfrequenz ohne zeitgleich auftretende Leistungsminderungen wurden bisher selten nachgewiesen. Iellamo et al. (2002) dokumentierten um 6 Schläge pro Minute erhöhte Ruheherzfrequenzwerte bei Ruderern während hoch umfangreicher Belastungsphasen, Dressendorfer et al. (1985) um 10 Schläge pro Minute erhöhte Werte bei Teilnehmern eines 500 km-Rennens. Die Veränderungen bei TN1 scheinen einer gesteigerten sympathischen Aktivität, möglicherweise aufgrund einer zu Wettkampfbeginn vorherrschenden Nervosität, geschuldet zu sein.



Im Gegensatz zu denjenigen Läufern, die den Lauf abbrechen mussten, zeigten sich bei TN1 und TN5 kritische Ereignisse anhand einer mindestens dreitägigen Erhöhung vagal bzw. sympathisch-parasympathisch modulierter Parameter der Herzfrequenzvariabilität. Bei TN5 waren einzelne HRV-Parameter auch im Mittel während des Deutschlandlaufs tendenziell erhöht. Bei beiden Teilnehmern konnte somit zumindest über drei aufeinanderfolgende Tage ein erhöhter parasympathischer Einfluss und eine gute Erholungsfähigkeit in der Wettkampfphase nachgewiesen werden. Ähnliche Ergebnisse finden sich bei Atlaoui et al. (2007), Hedelin, Kenttä et al. (2000), Uusitalo et al. (2000) sowie bei Earnest et al. (2004), die keine Veränderungen der Zeitbereichsparameter und der Spektralleistungen im HF- und LF-Frequenzband bei Teilnehmern der Spanienrundfahrt 2001 feststellen konnten. Mit Verweis auf den aktuellen Forschungsstand wäre jedoch eine reduzierte Herzfrequenzvariabilität zu erwarten gewesen (vgl. Baumert et al., 2006; Berbalk, 1999; Horn, 2003; Mourot et al., 2004), wobei Winsley et al. (2005) nachwiesen, dass die Verläufe der Parameter der Herzfrequenzvariabilität vom Trainingszustand der Sportler abhängig sind.

Die Herzfrequenzvariabilität von TN1 und TN5 zeigte während der Normwertbestimmung unterschiedliche Niveaus an, die mit der hohen biologischen Variabilität des Parameters (Horn et al., 2004), aber auch mit der kardiovaskulären Anpassungsfähigkeit in Verbindung stehen könnten (Hedelin et al., 2001). Letzteres Argument würde eine Erklärung für die höhere Laufleistung von TN1 im Vergleich zu TN5 darstellen, dieser reduzierte jedoch seine Laufgeschwindigkeit ausreichend, um den Lauf erfolgreich absolvieren zu können.

Iellamo et al. (2002) konnten nachweisen, dass in Phasen höchst intensiven und umfangreichen Trainings die Spektralleistung im HF-Frequenzband im Vergleich zu Normwerten der Sportler signifikant abnahm und während moderaterer Belastungsphasen signifikant anstieg. Die Autoren nehmen an, dass es beim Übergang von submaximalen zu maximalen Belastungsphasen zunächst zu einer Steigerung der vagalen Aktivität im Sinne einer Trainingsadaptation komme, während eine weitere Steigerung zu einem Überwiegen sympathischer Einflüsse führe. Die bei TN1 und TN5 beobachteten Veränderungen während des Deutschlandlaufs könnten daher im Sinne einer kurzzeitigen vegetativen Anpassung bzw. Leistungssteigerung interpretiert werden.

Während der Regenerationsphase zeigten sich bei TN1 und TN5 gleichartige Veränderungen der Parameter der Herzfrequenzvariabilität, die bei TN5 aufgrund von lediglich vier vorliegenden Messtagen zurückhaltend interpretiert werden müssen.

Insgesamt jedoch kam es bei beiden Teilnehmern zu einer deutlichen und die gesamte Regenerationsphase (TN1) andauernden autonomen Dysbalance und einer vagalen Hemmung mit deutlich dominantem sympathischem Einfluss. Die vagale Einflussnahme zeigte keine Anzeichen einer Erholung, die beeinträchtigte autonome Funktion deutet auf eine starke Ermüdung aufgrund der vorausgegangenen systemischen Gesamtbeanspruchung hin. Chronische Höchstbelastungen in Training und Wettkampf wirken sich nach Earnest et al. (2004) und Iellamo et al. (2002; vgl. Hoos, 2006) reduzierend auf die Herzfrequenzvariabilität aus und können, wie in diesem Fall dokumentiert, zu „langfristigen autonomen Funktionseinschränkungen führen, die mit einem Übertrainingszustand in Verbindung gebracht werden können“ (Hoos, 2006, S. 36; vgl. Uusitalo, 2001). Die Ergebnisse bestätigen die Ansicht von Horn (2003), die die ausgeprägtesten Veränderungen der autonomen Regulation nach erschöpfenden Beanspruchungen vermutet.

Einen Zusammenhang mit Überbelastungen vermuten neben Hoos (2006) auch Pichot et al. (2002), Uusitalo (2001) sowie Winsley et al. (2005). Die dokumentierte autonome Dysbalance steht in Einklang mit Ausführungen von Fry et al. (1991), Israel (1976), Kindermann (1986), Kuipers und Keizer (1988), Kuipers (1998), Krause und Weiß (2002), Lehmann et al. (1991), Rietjens et al. (2005) und Steinacker et al. (2000). Der von Noakes (2000) beschriebene zentrale Steuerungsmechanismus könnte in diesem Kontext auch mit den autonom modulierten Veränderungen der Herzfrequenzvariabilität in Zusammenhang stehen.

### *Zusammenfassung*

Insgesamt zeigten sich nur bei solchen Läufern, die den Lauf abbrechen mussten diagnostisch relevante Parameterveränderungen (TN2, TN3, TN6), die als Kriterien einer Überbelastung vordefiniert wurden. Bei diesen Teilnehmern konnten bereits während des Deutschlandlaufs kritische und signifikante Veränderungen von mindestens einem der untersuchten Parameter dokumentiert werden. Allen Abbrechern gemein waren hier signifikant erhöhte Ruheherzfrequenzwerte, bei TN2 und TN4 begleitet von einer deutlich beeinträchtigten Befindlichkeit, bei TN4 und TN6 von deutlich und kritisch verminderten parasympathisch modulierten HRV-Parametern. Im Gegensatz dazu zeigte sich bei den erfolgreichen Teilnehmern TN1 und TN5 eine zeitweise über das Normalmaß hinaus erhöhte Herzfrequenzvariabilität. Die erhöhte Ruheherzfrequenz bei TN1 und die beeinträchtigte Befindlichkeit bei TN5 erscheinen marginal und nicht aussagekräftig.

Während der Regenerationsphase zeigte sich bei allen Teilnehmern des Deutschlandlaufs ein ähnliches Muster. Die Ruheherzfrequenzwerte waren kritisch und meist signifikant erhöht, die vagal modulierten Parameter der Herzfrequenzvariabilität erniedrigt. Bis auf TN2 gelang es keinem der Teilnehmer, sich innerhalb eines Zeitfensters von zwei bis drei Wochen auf kardiologischer Ebene zu erholen. Die efferente vagale Aktivität scheint bei den Sportlern deutlich und dauerhaft eingeschränkt, eine Anpassung an das Eingangsniveau während der Normwertbestimmung fand nicht statt, die autonome Balance war deutlich und nachhaltig gestört. Anzeichen einer Erholung waren nicht auszumachen, lediglich TN2 erreichte innerhalb der Regenerationsphase ein ähnliches Niveau wie während der Normwertbestimmung. Bei diesem Teilnehmer waren die Veränderungen der Herzfrequenzvariabilität während der letzten Messphase nicht signifikant.

Die untersuchten Teilnehmer reagierten unterschiedlich empfindlich auf die äußeren Belastungsfaktoren des Deutschlandlaufs. Art, Ausprägung und Dauer der gemessenen Veränderungen variierten interindividuell beträchtlich.

Bei TN1 und TN5 stellten die Parameter der Herzfrequenzvariabilität und die Ruheherzfrequenz sensible Indikatoren für die Ermüdung während der Regenerationsphase dar, nicht jedoch die Befindlichkeit. Auch bei TN3 traten lediglich in Bezug auf die physiologischen Messparameter kritische Ereignisse auf, die der reduzierten maximalen Herzfrequenz als Kriterium einer Überbelastung beim zweiten durchgeführten Leistungstest vorausgingen. Die Ruheherzfrequenz reagierte bei diesem Teilnehmer sensibler als die HRV-Parameter und dürfte als Frühwarnsymptom für ein negatives Erholungs-Belastungs-Verhältnis am ehesten geeignet sein.

Bei TN2 und TN4 gingen dem verletzungsbedingten Abbruch des Laufs kritische Veränderungen der Ruheherzfrequenz und der Befindlichkeit voraus, wobei für beide Teilnehmer der Mittelwert der positiven Kategorien der psychischen Befindlichkeit den sensibelsten Messparameter darstellte.

Die kritischen Veränderungen der Parameter der Herzfrequenzvariabilität dagegen zeigten bei TN2 einen zeitlich verzögerten Effekt und traten erst zu Beginn bzw. zum Ende der Regenerationsphase auf. Sie dokumentierten demnach für diesen Teilnehmer zwar eine erhöhte vorausgegangene systemische Gesamtbeanspruchung, ohne jedoch frühzeitige Hinweise auf eine Leistungsminderung geben zu können. Entsprechende Veränderungen der Herzfrequenzvariabilität wären bereits während des Deutschlandlaufs zu erwarten gewesen, sodass dieser Parameter bei TN2 als Indikator für eine eingeschränkte Regenerationsfähigkeit während des Deutschlandlaufs nicht geeignet war. Die vom zweiten bis vierten Wettkampftag erhöhte Ruheherzfrequenz, die auf eine Dominanz des sympathischen Anteils des autonomen Nervensystems hinweist, scheint dagegen eher geeignet zu sein, zu hohe Belastungsfaktoren – in diesem Fall vor allem eine zu hohe Belastungsintensität zu Wettkampfbeginn – anzuzeigen.

Bei TN4 trat bereits unmittelbar vor Beginn der Wettkampfphase eine Verschlechterung der Befindlichkeit auf, die einer verminderten Herzfrequenzvariabilität vorausging. Im Anschluss an den Deutschlandlauf erholte sich die Befindlichkeit dann wiederum schneller als die kardiologischen Messparameter, wobei die positiven Parameter für eine längere Zeit als die negativen Parameter beeinträchtigt blieben.

Unabhängig von den ermittelten Diagnoseparametern einer Überbelastung lassen sich folgende abschließende Aussagen bezüglich des Auftretens kritischer Ereignisse bei erfolgreichen bzw. nicht erfolgreichen Teilnehmern des Deutschlandlaufs machen:

- Sämtliche untersuchten Sportler, bei denen bereits während des Deutschlandlaufs eine a priori als kritisch eingestufte Befindlichkeitsverschlechterung dokumentiert werden konnte, mussten den Wettkampf im weiteren Verlauf abbrechen.
- Vier der fünf Sportler, bei denen die Ruheherzfrequenz während des Deutschlandlaufs kritische Werte annahm oder signifikant erhöht war, brachen den Lauf später ab.
- Alle untersuchten Sportler zeigten im Anschluss an den Lauf während eines beträchtlichen Zeitraums der Regenerationsphase erhöhte Ruheherzfrequenzwerte und damit einen dominanten Einfluss der sympathischen Aktivität des autonomen Nervensystems, verbunden mit einer eingeschränkten Regenerationsfähigkeit.
- Bei beiden erfolgreichen Teilnehmern zeigten sich kritische Ereignisse in Bezug auf die Herzfrequenzvariabilität während des Wettkampfes in Form zeitweise erhöhter Werte, die auf eine gesteigerte Aktivität des parasympathischen Anteils des autonomen Nervensystems hindeuten; beide Teilnehmer wiesen also während des Deutschlandlaufes eine nicht zu erwartende gesteigerte Regenerationsfähigkeit auf.
- Sämtliche teilnehmenden Sportler wiesen während der Regenerationsphase kritische Ereignisse in Form einer reduzierten Herzfrequenzvariabilität auf, die auf einen verringerten vagalen Einfluss und eine eingeschränkte Regenerationsfähigkeit schließen lassen.

## 6 Schlussbetrachtung

Verlässliche Marker für die Entstehung einer Überbelastung oder eines Übertrainingssyndroms sollten idealerweise sensibel auf Trainingsbelastungen reagieren, gleichzeitig aber unbeeinflusst von weiteren Faktoren – wie z. B. Ernährung – sein. Sie sollten, um in der Trainingssteuerung einsetzbar zu sein, Veränderungen anzeigen, noch bevor es zur Ausbildung eines Übertrainingssyndroms kommt. Veränderungen aufgrund akuter Belastungen sollten von Anpassungen nach chronischen Belastungen abgrenzbar sein. Die Marker sollten leicht zu messen und nicht zu kostenintensiv sein (Meeusen et al., 2006).

Die Suche nach Parametern, die die von Meeusen et al. (ebenda) genannten Kriterien erfüllen und für die frühzeitige Erkennung und Prävention einer Überbelastung genutzt werden können, blieb bis zum heutigen Zeitpunkt erfolglos, unter anderem, weil Überbelastungen und Übertrainingssyndrome

„eine Vielfalt an strukturellen, neuroendokrinen, immunologischen, physiologischen und psychologischen Veränderungen (induzieren). Aus diesem Grund kann kein einzelner allgemein gültiger Parameter diese Veränderungen alleinig charakterisieren“ (Vogel, 2001, S. 154).

Ein Konsens bezüglich einer geeigneten Kombination von Diagnoseparametern und Frühwarnsymptomen besteht aufgrund individuell verschiedener Reaktions- und Auslösemechanismen nicht (vgl. Fry et al., 1991; Kenttä et al., 2001; Meeusen et al., 2006). Die häufige Verwendung uneinheitlicher Begrifflichkeiten erschwert differenzierte Beurteilungen unterschiedlich ausgeprägter Erschöpfungszustände aufgrund zu hoher Belastungsanforderungen (vgl. Vogel, 2001). Erforderlich und wünschenswert sind daher eine einheitlich verwendete Terminologie sowie nachvollziehbare Kriterien bei der Auswahl diagnostisch relevanter symptomatischer Veränderungen.

Erfolg versprechend im Hinblick auf die Erforschung der Phänomene Überbelastung und Übertrainingssyndrom erscheint ein individueller Ansatz, der vor dem Hintergrund unterschiedlicher Suszeptibilitäten gegenüber Stressoren und Belastungsfaktoren solche symptomatischen Veränderungen herauszufiltern versucht, die individuell am sensibelsten auf zu hohe Belastungsreize reagieren (vgl. Vogel, 2001). Unabdingbar für einen wissenschaftlichen Forschungsansatz ist die Definition von Kriterien einer Überbelastung oder eines Übertrainingssyndroms – welche leistungsdiagnostischen, physiologischen oder psychologischen Veränderungen die zu untersuchenden Erschöpfungszustände beschreiben, wie sich also zu hohe Belastungsreize aufgrund des bisherigen Wissensstands voraussichtlich auswirken, muss bestimmbar und nachvollziehbar sein. Die Erstellung eines solchen Kriterienkatalogs kann nur auf der Grundlage bisher verwendeter Diagnoseparameter erfolgen, bleibt jedoch aufgrund einer fehlenden Standardisierung bis zu einem gewissen Grad zwangsläufig willkürlich. Sowohl die Bestimmung der Höhe einer sportart-spezifischen Leistungsminderung als auch das vorab festgelegte Maß kritischer oder diagnose-relevanter Parameterveränderungen können fehlerhaft sein und bedürfen gegebenenfalls einer individuellen Anpassung, nachdem sie einzelfallbezogen auf ihre Wirksamkeit überprüft wurden. Unterschiedliche Anpassungsreaktionen auf Extrembelastungen können dennoch einen identischen systemischen, vorübergehenden oder chronischen Erschöpfungszustand als Folge eines negativen Erholungs-Belastungs-Verhältnisses anzeigen. In den Fokus der sportwissenschaft-

lichen Erforschung von Überbelastung und Übertrainingssyndrom sollte demzufolge der einzelne Sportler gerückt werden.

Ziel der durchgeführten Studie war die Beobachtung von Ultralangstreckenläufern während unterschiedlicher Belastungsphasen, einschließlich einer Wettkampfperiode mit ausgesprochen hohem Belastungsumfang. Dabei sollte bestimmt werden, ob Veränderungen ausgewählter physiologischer und psychologischer Parameter mit Leistungsminderungen der Sportler einhergehen. Es wurde der Versuch unternommen, mittels a priori und auf der Grundlage individueller Normwerte bestimmter kritischer Ereignisse Überbelastungen während der Wettkampfphase einzelfallbezogen frühzeitig zu erkennen.

Als Versuchsteilnehmer konnten sechs Ultramarathonläufer gewonnen werden, die vom 8. bis 24. September 2008 an einem 17-tägigen Ultramarathon von Rügen nach Lörrach teilnahmen. Der Gesamtbelastungsumfang dieses Wettkampfes barg eine ausgesprochen hohe Gefahr für die Sportler, neben muskulären Verletzungen eine Überbelastung oder ein Übertrainingssyndrom zu entwickeln (vgl. Armstrong & VanHeest, 2002).

Im Gegensatz zu experimentellen Übertrainingsstudien wurden die Daten in dieser Feldstudie während eines realen Wettkampfes ermittelt. Die persönlichen Ziele der Athleten und ihre hohe Motivation, das Rennen erfolgreich zu beenden, ließen eine erhöhte Bereitschaft erwarten, individuelle Leistungsgrenzen zu überschreiten. Der gewählte Ansatz hatte diesbezüglich Vorteile gegenüber einer kontrollierten Laborstudie und einer Beobachtungsstudie, musste jedoch andererseits zwangsläufig damit leben, dass durch den nichtinvasiven Charakter der Untersuchung eine erhöhte Abhängigkeit vom verlässlichen und eigenverantwortlichen Mitwirken der Teilnehmer bestand.

Die Untersuchung wurde in drei Messphasen (Normwertbestimmung/Deutschlandlauf/Regeneration) mit stark unterschiedlichen Belastungsumfängen unterteilt. Auf der Grundlage der während der ersten Messphase für jeden Parameter erstellten Normwertbereiche wurden parameterbezogene kritische Ereignisse definiert, von denen angenommen wurde, dass sie möglicherweise auftretenden Überbelastungen vorausgehen würden. Die Vermutung war also, dass mindestens dreitägige Auslenkungen der zum Einsatz kommenden Parameter auf individueller Basis geeignet sein könnten, um Überbelastungen frühzeitig anzuzeigen. Die Berücksichtigung einer ausreichend langen Regenerationsphase ist für eine Diskussion auftretender Überbelastungen unumgänglich, dennoch wurde in ähnlichen Untersuchungen darauf verzichtet (vgl. Dressendorfer et al., 1985; Slivka et al., 2010).

Die Auswahl der physiologischen und psychologischen Parameter, die als Frühwarnsymptome fungieren sollten, richtete sich danach, ob diese in bisherigen Studien als vielversprechend eingeschätzt wurden und nichtinvasiv im Feld bestimmbar waren. Zum Einsatz kamen Parameter der Herzfrequenzvariabilität, die Ruheherzfrequenz sowie die psychische Befindlichkeit.

Die Festlegung der Diagnoseparameter erfolgte nach Durchsicht bisher verwendeter und bestimmbarer Kriterien für Überbelastungen und in Anlehnung an Vogel (2001). Grundlage für die Diagnose einer Überbelastung war demnach die Bestimmung der Leistungsfähigkeit der Sportler anhand stufenförmiger Laktat-Leistungstests auf dem Laufband während der Normwertbe-

stimmung, im Anschluss an den Deutschlandlauf und am Ende der nachfolgenden Regenerationsphase.

Darüber hinaus dokumentierten die Sportler die täglichen Belastungsinhalte, ihr Anstrengungsempfinden sowie belastende Ereignisse und beurteilten rückblickend ihre individuelle Belastungstoleranz während des Ultramarathons bzw. ihre körperliche Gesamtverfassung nach Beendigung der Regenerationsphase. Die Auswertung und Diskussion der Ergebnisse erfolgte einzelfallbezogen und anhand deskriptiver und analytischer statistischer Verfahren vor dem Hintergrund der ermittelten Belastungsfaktoren. Mittels Varianzanalyse wurden die Mittelwerte jedes untersuchten Parameters mit den Werten der beiden übrigen Messphasen verglichen und auf signifikante Unterschiede hin überprüft.

Die durchgeführten Einzelfallanalysen zeigten, dass die ausgewählten Parameter zur Beurteilung der Leistungsfähigkeit und Belastungstoleranz der untersuchten Sportler geeignet sind. Der nach dargestelltem Muster erprobte individuelle Ansatz in der Prävention von Erschöpfungszuständen erscheint daher vielversprechend.

Es konnte unterschieden werden zwischen kritischen Ereignissen, die sich schon vor Abbruch des Laufes bzw. dem Auftreten von diagnoserelevanten Kriterien zeigten, und solchen, die erst in der nachfolgenden Regenerationsphase auftraten. Vor allem die bereits während der Wettkampfphase aufgetretenen kritischen Ereignisse können als Warnsignale eines negativen Erholungs-Belastungs-Verhältnisses interpretiert werden und auf individueller Ebene als Frühwarnsymptome nutzbar sein. Die Ausnahme stellen die bei TN1 und TN5 ermittelten erhöhten Werte der Herzfrequenzvariabilität dar, da beide Sportler den Lauf erfolgreich absolvierten und keine diagnoserelevanten Kriterien einer Überbelastung zeigten.

Bei sämtlichen Sportlern, bei denen Kriterien einer Überbelastung nachgewiesen wurden (TN2, TN3, TN6) oder die den Lauf abbrechen mussten (TN2, TN3, TN4, TN6), kam es zu kritischen Ereignissen in Form mindestens dreitägiger Über- oder Unterschreitungen der für jeden der untersuchten Parameter ermittelten Normwertbereiche. Diese zeigten sich bei den Abbrechern bereits während der Wettkampfphase, es kam zu kritisch erhöhten Ruheherzfrequenzwerten in Kombination mit kritisch erniedrigten Werten vagal modulierter Parameter der Herzfrequenzvariabilität und/oder einer verschlechterten Befindlichkeit. Die Veränderungen der Ruheherzfrequenz und Herzfrequenzvariabilität werden gemeinhin als eine Verschiebung der sympathovagalen Balance in Richtung eines verstärkten Einflusses des Sympathikus interpretiert (vgl. Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology, 1996). Auf individueller Ebene ging also dem Auftreten diagnostisch relevanter Kriterien einer Überbelastung bzw. dem Abbruch des Deutschlandlaufs eine vagale Hemmung bzw. sympathische Dominanz voraus.

Die vordefinierten kritischen Ereignisse traten während der ersten Messphase der Normwertbestimmung bei keinem der teilnehmenden Sportler auf, sodass die extremen Belastungsanforderungen des Deutschlandlaufs als Ursache für eine frühzeitige oder zeitlich verzögerte Auslenkung der Parameter angesehen werden können.

Im Gegensatz zu denjenigen Läufern, die den Lauf abbrechen mussten, traten bei den erfolgreichen Teilnehmern während des Deutschlandlaufs kritische Ereignisse in Form einer erhöhten Herzfrequenzvariabilität auf, die mit einer gesteigerten parasympathischen Aktivität des autono-

men Nervensystems assoziiert wird und eine erhöhte Regenerationsfähigkeit anzeigt (vgl. Berbalk, 1999). Lediglich zwei weitere kritische Ereignisse – erhöhte Ruheherzfrequenzwerte bei TN1 sowie ein Anstieg der negativen Befindlichkeitsparameter bei TN5 – konnten bei den erfolgreichen Teilnehmern während der Wettkampfphase dokumentiert werden. Diese ließen sich jedoch mit einer erhöhten Anfangsnervosität zu Wettkampfbeginn (TN1) erklären bzw. zeigten lediglich minimale Veränderungen (TN5) an. Möglicherweise sind bei beiden Teilnehmern aufgrund der geringen Schwankungen der Ruheherzfrequenz bzw. Befindlichkeit während der Normwertbestimmung die ermittelten unteren sowie oberen Grenzwertbereiche zu eng gefasst worden, sodass bereits sehr geringfügige Veränderungen kritische Ereignisse anzeigten.

Die Annahme, dass auf individueller Ebene unterschiedliche physiologische oder psychologische Parameter als Indikatoren für den Übergang von einer Ermüdung zu einer Überbelastung bzw. zu einem Übertrainingssyndrom geeignet sind, konnte bestätigt werden. Gleichzeitig konnten einheitliche Tendenzen bei sämtlichen Teilnehmern bezüglich der Werte von Ruheherzfrequenz und Herzfrequenzvariabilität während der Regenerationsphase nachgewiesen werden. Im Anschluss an den Deutschlandlauf zeigten *alle* Teilnehmer eine unterschiedlich lang andauernde vegetative Dysbalance, die anhand erhöhter Ruheherzfrequenzwerte und verminderter Werte für die vagal modulierten Parameter der Herzfrequenzvariabilität angezeigt wurde. Die Belastungsanforderungen des Deutschlandlaufs führten zu längerfristigen Beeinträchtigungen der einzelnen physiologischen Subsysteme bei den untersuchten Sportlern, verbunden mit einer eingeschränkten Regenerationsfähigkeit, die vielfach mit Überbelastungen in Verbindung gebracht wird (vgl. Hoos, 2006; Uusitalo et al., 2000). Extremlastungen dieser Art dürften jedenfalls bei den Studienteilnehmern eine mehr als zwei- bis dreiwöchige Erholungsphase erfordern, um auf kardiologischer Ebene das während der Normwertbestimmung ermittelte Niveau wieder zu erreichen. Die Dauer der dokumentierten Veränderungen war mindestens bei TN1 von der Dauer der vorangegangenen Wettkampfphase beeinflusst.

Im Hinblick auf den Einfluss der Belastungsanforderungen des Deutschlandlaufs auf die einzelnen untersuchten Parameter konnte gezeigt werden, dass sowohl die physiologischen, als auch die psychologischen Parameter individuell unterschiedlich sensibel reagierten. So zeigten sich bei TN1 trotz deutlicher Veränderungen der Ruheherzfrequenz und Herzfrequenzvariabilität keine auffälligen Veränderungen der Befindlichkeit.

Insgesamt erwiesen sich bei den Teilnehmern – im Vergleich mit bisher durchgeführten Studien unerwarteterweise – die Ruheherzfrequenz und die Parameter der Herzfrequenzvariabilität als zumindest ebenso aussagekräftig wie die psychische Befindlichkeit. Letztere zeigte bei TN2 und TN4 bereits frühzeitig und vor dem Auftreten physiologischer Anpassungen Beeinträchtigungen an und erholte sich während der Regenerationsphase schneller, während die kardiologischen Messparameter über einen insgesamt längeren Zeitraum Beeinträchtigungen aufwiesen und bei TN1, TN3, TN4, TN5, TN6 auch am Ende der Regenerationsphase noch nicht wieder das Niveau der Normwertbestimmung erreicht hatten.

Veränderungen, die zu Beginn der Wettkampfphase auftraten, dauerten nicht immer an, obwohl die Möglichkeiten zur Regeneration während des Deutschlandlaufs eingeschränkt waren. Dies trifft

beispielsweise auf die während der ersten Tagesetappen erhöhten Ruheherzfrequenzwerte bei TN1 und TN2 zu.

Während der Untersuchungsdurchführung traten mehrere Probleme auf, die im Hinblick auf die Durchführung zukünftiger, ähnlich angelegter Studien relevant erscheinen.

Die Laktat-Leistungstests zur Ermittlung der sportartspezifischen maximalen Leistungsfähigkeit wurden aus unterschiedlichen Gründen nicht vollständig durchgeführt. TN4 machte aus Angst vor Verletzungen den Verzicht auf die Leistungstests zur Bedingung für seine Teilnahme an der Studie, TN5 konnte verletzungsbedingt den zweiten und dritten Leistungstest nicht durchführen, TN2 musste den zweiten Test verletzungsbedingt absagen. Lediglich TN1, TN3 und TN6 führten wie geplant sämtliche Leistungstests durch. Da die Überprüfung der a priori festgelegten Diagnoseparameter einer Überbelastung auf der Grundlage der Leistungstests erfolgte, mussten weitere Abstriche im Bereich der ohnehin begrenzt validen Diagnosemöglichkeiten für eine Überbelastung in Kauf genommen werden. Unter Berücksichtigung der teilweise deutlichen Veränderungen der untersuchten physiologischen und psychologischen Parameter auf individueller Ebene erscheint denkbar, dass bei einer Mehrzahl an durchgeführten Leistungstests ein häufigeres Auftreten diagnoserelevanter Veränderungen nachweisbar gewesen wäre.

Die im Verlauf der vorliegenden Untersuchung als diagnostisch relevant erachteten Kriterien einer Überbelastung sind aus mehreren Gründen diskussionswürdig. Zum einen erfolgte die Auswahl auf der Grundlage bisher veröffentlichter Diagnoseparameter für eine Überbelastung bzw. ein Übertrainingssyndrom, für die der Nachweis allgemeiner Gültigkeit jedoch fehlt. Des Weiteren basiert die Aussagefähigkeit von Leistungstests auf der maximalen Ausbelastung der Sportler, die nicht uneingeschränkt vorlag. Somit lässt sich beispielsweise nicht zweifelsfrei ausschließen, dass die bei TN2 beim letzten Leistungstest ermittelte eingeschränkte Leistungsfähigkeit in Verbindung mit reduzierten maximalen Laktatwerten zumindest teilweise mit einem um einen Borg-Punkt reduzierten Anstrengungsempfinden erklärt werden könnte. Auch das Argument, dass bei nicht vollständiger Ausbelastung während der Eingangstests die ermittelten Maximalwerte in Wirklichkeit lediglich submaximale Werte darstellten, ist nicht eindeutig widerlegbar. Es bleibt jedoch festzuhalten, dass jeder der teilnehmenden Sportler die Bereitschaft signalisierte, sich bei den Leistungstests maximal zu verausgaben. Bei der Beurteilung und Interpretation der Ergebnisse sind dem außenstehenden Beobachter natürliche Grenzen auferlegt.

Kritisch zu hinterfragen ist im Nachhinein auch die Auswahl der stufenförmigen Belastungsform bei den durchgeführten Leistungstests. Zwar entspricht diese Form der üblichen Praxis in der Laktatleistungsdagnostik im Ausdauerbereich, jedoch gehen Halson und Jeukendrup (2004) davon aus, dass sogenannte timetrial-Tests mit konstanten Belastungsintensitäten deutlichere Veränderungen der maximalen Leistungsfähigkeit bei Ausdauersportlern, die unter einer Überbelastung oder einem Übertrainingssyndrom leiden, nachweisen könnten (vgl. Rietjens et al., 2005; Urhausen et al., 1998; Urhausen & Kindermann, 2002a). Untersuchungen von Bosquet et al. (2001) bestätigten diese Vermutung. Auf der Grundlage mittels stufenförmiger Leistungstests festgelegter maximaler Leistungswerte könnten demnach konstante Belastungsformen bestimmt und die zeitliche Dauer



der Aufrechterhaltung einer vorbestimmten Belastungsintensität als Kriterium der maximalen Ausdauerleistung gewählt werden.

Unter Berücksichtigung der relativ niedrigen Laufgeschwindigkeit der Teilnehmer während des Deutschlandlaufs könnten so koordinative Aspekte, wie sie beim maximal schnellen Laufen auf dem Laufband erforderlich sind, in ihrem Einfluss auf die belastungsspezifische maximale Leistungsfähigkeit der Sportler reduziert werden und somit die kardiopulmonalen Prozesse als leistungslimitierende Faktoren an Bedeutung gewinnen.

Nicht auszuschließen ist, dass die teilweise geringfügigen Leistungsminderungen im Anschluss an den Deutschlandlauf bei TN1, TN3 und TN6 bei solchen timetrial-Tests deutlicher ausgefallen wären. Jedoch erfordert diese Art der Ausbelastung aufgrund der erhöhten Belastungsdauer eine gesteigerte Bereitschaft der Teilnehmer, individuelle Leistungsgrenzen tatsächlich auszuschöpfen.

Die bei TN3 ermittelten Normwertbereiche des Parameters Befindlichkeit zeigten bereits während der ersten Messphase ungünstige Werte an und erscheinen aufgrund einer beruflichen Mehrbelastung des Teilnehmers negativ beeinflusst gewesen zu sein. Auch die bei TN3 vorherrschende Tendenz zu Stimmungsbeeinträchtigungen schränkt die Verwertbarkeit des Parameters in Bezug auf seinen diagnostischen Nutzen ein, sodass kritische Ereignisse während des Deutschlandlaufs und der nachfolgenden Regenerationsphase nicht nachgewiesen werden konnten, obwohl eine tendenziell verschlechterte Stimmungslage erkennbar war. Dies zeigt die Notwendigkeit, während der Normwertbestimmung Phasen mit normaltypischen Belastungsanforderungen zu wählen und auch die berufliche Beanspruchung mit zu berücksichtigen. Es sollten idealerweise keine erhöhten Belastungssituationen physiologischer oder psychischer Art vorliegen, die den Sportler übermäßig beanspruchen und die untersuchten Parameter verfälschen könnten. Um dies zu gewährleisten, sollte die Auswahl geeigneter Messphasen für eine Normwertbestimmung in noch engerer Kooperation mit den Sportlern erfolgen und möglicherweise einen längeren Zeitrahmen als zwei Wochen umfassen.

Auch Verständnisschwierigkeiten, die der schwedische Teilnehmer bei der Übersetzung einzelner Begriffe der englischen Version des Befindlichkeitsfragebogens zeigte, könnten die Werte marginal verfälscht haben. Hier sollte auf eine in der Muttersprache der Teilnehmer vorliegende Version bestanden werden.

Trotz hinreichender schriftlicher und mündlicher Anweisungen an die Sportler kam es zu einigen Messlücken; bei TN5 entfielen nahezu sämtliche Werte der Regenerationsphase, TN6 stellte während des Deutschlandlaufs die Bearbeitung der Befindlichkeitsprotokolle ein. TN5 begründete die fehlenden Messungen mit dem Abschluss des Deutschlandlaufs und der Annahme, dass die Untersuchung zu diesem Zeitpunkt beendet gewesen sei. Die vorliegenden vier Messungen der Ruheherzfrequenz sowie der Herzfrequenzvariabilität während der Regenerationsphase lassen keine ausreichende Interpretation der Parameterveränderungen zu. Hier müssten zukünftig Maßnahmen definiert werden, die das Risiko des Datenverlusts dieser Art minimieren. Befindlichkeitsfragebögen, die eine noch kürzere Bearbeitungsdauer erfordern, als für die verwendeten Befindlichkeitsskalen notwendig war, erscheinen gerade für anstrengende Wettkampfphasen hilfreich.

Trotz der dargelegten Problematik erscheint die a priori durchgeführte Bestimmung kritischer Ereignisse in Form mindestens dreitägiger Über- oder Unterschreitungen der vordefinierten Normbereiche für ein individuelles Trainingsmonitoring geeignet. Da während normalen Trainings keine kritischen Ereignisse auftraten, diese jedoch diagnoserelevanten Veränderungen, Leistungsminderungen oder verletzungsbedingten Abbrüchen vorausgingen, können die ausgewählten Parameter als geeignete Frühwarnsymptome für die untersuchten Sportler angesehen werden. Eine konstante individuelle Überprüfung der Parameterverläufe und Anpassung von Normwertbereichen im langfristigen Trainingsprozess erscheint sinnvoll.

Im Bereich der Übertrainingsforschung ist ein individueller Ansatz unumgänglich, da eine Vielzahl von Parameterveränderungen auf individueller Ebene diagnostisch bedeutsam sein kann. Das Erstellen von Normwertbereichen ermöglicht den Vergleich aktueller Werte während eines normalen Trainingsprozesses mit zukünftigen Parameterveränderungen eines Sportlers. Die von Kiviniemi et al. (2007) für Parameter der Herzfrequenzvariabilität angewandte Vorgehensweise hat sich in dieser Untersuchung nicht nur für diese, sondern in großen Teilen auch für die Parameter Ruheherzfrequenz und Befindlichkeit bewährt.

Widersprüchlich erscheint nach wie vor, dass auf individueller Ebene unterschiedliche Veränderungen physiologischer oder psychologischer Messparameter als geeignete Frühwarnsymptome einer Überbelastung angenommen werden (vgl. Armstrong & VanHeest, 2002; Raglin & Barzdukas, 1999; Vogel, 2001), einige Autoren jedoch absolute Grenzwerte als Kriterien einer Diagnose nennen (vgl. Berglund & Säfström, 1994; Karvonen, 1992; Snyder et al., 1995; Urhausen & Kindermann, 2002a; Vogel et al., 2001), ohne dass in der sportwissenschaftlichen Literatur Einigkeit über diese herrschen würde. Die in Anlehnung an Vogel et al. (2001) innerhalb dieser Studie dargelegten Diagnoseparameter haben daher keinen Anspruch auf Validität und können lediglich als Diskussionsgrundlage gewertet werden. Sie bedürfen einer weitergehenden und einzelfallbezogenen Überprüfung.

Der Komplexität und individuellen Unterschiedlichkeit systemischer Anpassungen aufgrund eines negativen Erholungs-Belastungs-Verhältnisses scheint die Suche nach einer „Kombination von Kardinalsymptomen und -zeichen zur Diagnose des Overreaching und dessen Frühformen“ (Vogel, 2001), auf der Basis vorliegender persönlicher Referenzwerte, am ehesten Rechnung zu tragen. Ein Verzicht auf objektive und allgemeingültige Marker für Überbelastungen erscheint nachzeitigem Wissensstand plausibel und nachvollziehbar. Der von Meeusen et al. (2006) eingangs beschriebene Anspruch an Diagnoseparameter, frühzeitig und sensibel auf Trainingsbelastungen zu reagieren sowie unabhängig von weiteren Faktoren und zudem kostengünstig und leicht messbar zu sein, klingt vor diesem Hintergrund wenig realistisch.

Die eingeschränkten Möglichkeiten einer Diagnose von Überbelastungen bzw. Übertrainingsyndromen erfordern zukünftig eine noch engmaschigere Durchführung von Leistungstests und medizinischen Untersuchungen. Für eine exakte Bestimmung der Dauer einer Leistungsminderung wären wöchentliche Leistungstests ideal, wenn diese nicht mit der Bereitschaft der Teilnehmer in Konflikt stehen, an einer Untersuchung teilzunehmen. Vorteilhaft erscheint zudem die Anwesenheit von Trainern und Wissenschaftlern bei der Durchführung von Leistungstests, um die Sportler

verstärkt zu einer maximalen Ausbelastung anzutreiben. Dies ist umso nachvollziehbarer, als die sportartspezifische Leistungsfähigkeit eines Athleten den einzigen eindeutigen und allgemein anerkannten Parameter für die Diagnose einer Überbelastung bzw. eines Übertrainingssyndroms darstellt, wenn gleichzeitig durch eine medizinische Untersuchung alternative ursächliche Erklärungen einer Leistungsminderung ausgeschlossen werden können.

Neben einer engmaschigen Durchführung von Leistungstests muss die Auswahl der Tests angepasst an das Leistungsniveau und die Sportart der teilnehmenden Athleten erfolgen. Hier scheinen im Bereich des Ultralangstreckenlaufs timetrial-Tests denkbar und herkömmlichen Stufentests möglicherweise überlegen.

Um die Unterstützung der Teilnehmer dauerhaft zu gewährleisten und das Auftreten von Messlücken zu verhindern, erscheint eine Integration von Trainer- und Betreuerstab in die Untersuchungsdurchführung nützlich. Messbedingungen, bei denen die teilnehmenden Sportler unter vergleichbaren Bedingungen leben, gemeinsam trainieren und sich am selben Ort befinden, wie dies beispielsweise bei einem längerfristigen Trainingslager der Fall ist, erscheinen ideal für die Durchführung einer Untersuchung dieser Art. Etwaige Probleme könnten somit auf kurzem Wege behandelt und Missverständnisse vermieden werden.

Möglich erscheint eine Erweiterung bzw. Ergänzung der untersuchten Parameter mittels solcher Parameter, die akute Muskelschädigungen anzeigen könnten (Harnsäure, Harnstoff, Myoglobin, Creatin-Kinase oder hormonell-metabolische Parameter) (Vogel et al., 2001).

Eine höhere Anzahl an Teilnehmern, die sportart- und leistungsbezogen untersucht werden, ist zudem wünschenswert.

## 7 Literaturverzeichnis

- Abele-Brehm, A. & Brehm, W. (1986). Zur Konzeptualisierung und Messung von Befindlichkeit. Die Entwicklung der Befindlichkeitsskalen. *Diagnostica*, 32 (3), 209–228.
- Achten, J. & Jeukendrup, A.E. (2003). Heart rate monitoring: applications and limitations. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 33 (7), 517–538.
- Adams, J. & Kirkby, R.J. (2001). Exercise Dependence and Overtraining: The Physiological and Psychological Consequences of Excessive Exercise. *Sports Medicine, Training and Rehabilitation* (10), 199–222.
- Ahonen, J. (1994). *Sportmedizin und Trainingslehre*. Stuttgart etc.: Schattauer.
- Angeli, A., Minetto, M., Dovio, A. & Paccotti, P. (2004). The overtraining syndrome in athletes: a stress-related disorder. *Journal of endocrinological investigation*, 27 (6), 603–612.
- Anglem, N., Lucas, S.J.E., Rose, E.A. & Cotter, J.D. (2008). Mood, illness and injury responses and recovery with adventure racing. *Wilderness & environmental medicine*, 19 (1), 30–38. unter doi:10.1580/07-WEME-OR-091.1.
- Anish, E.J. (2005). Exercise and its effects on the central nervous system. *Current sports medicine reports*, 4 (1), 18–23.
- Armstrong, L.E. & VanHeest, J.L. (2002). The unknown mechanism of the overtraining syndrome: clues from depression and psychoneuroimmunology. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 32 (3), 185–209.
- Arvay, S. & Hofmann, P. (2001). Herzfrequenzvariabilität und Trainingssteuerung - Die Bestimmung der Herzfrequenzvariabilität als eine nicht invasive Methode zur Beurteilung der körperlichen Beanspruchung durch sportliches Training. *Spektrum der Sportwissenschaften, Zeitschrift der Österreichischen Sportwissenschaftlichen Gesellschaft (ÖSG)*, 13 (Supplement 2001), 5–13.
- Atlaoui, D., Pichot, V., Lacoste, L., Barale, F., Lacour, J.-R. & Chatard, J.-C. (2007). Heart rate variability, training variation and performance in elite swimmers. *International journal of sports medicine*, 28 (5), 394–400. unter doi:10.1055/s-2006-924490.
- Aubert, A.E., Seps, B. & Beckers, F. (2003). Heart rate variability in athletes. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 33 (12), 889–919.
- Batson, C.D., Shaw, L.L. & Oleson, K.C. (1992). Differentiating affect, mood, and emotion: Toward functionally based conceptual distinctions. In M.S. Clark (Hrsg.), *Review of personality and social psychology* (13, S. 294–326). Newbury Park, CA: Sage.
- Baumert, M., Brechtel, L., Lock, J., Hermsdorf, M., Wolff, R., Baier, V. & Voss, A. (2006). Heart rate variability, blood pressure variability, and baroreflex sensitivity in overtrained athletes. *Clinical journal of sport medicine : official journal of the Canadian Academy of Sport Medicine*, 16 (5), 412–417. unter doi:10.1097/01.jsm.0000244610.34594.07.
- Berbalk, A. (1999). Herzfrequenzvariabilität zur Trainingssteuerung. *Medical triathlon world : international magazine for medicine and triathlon* (26), 35–37.
- Berbalk, A. & Bauer, S. (2001). Diagnostische Aussage der Herzfrequenzvariabilität in Sportmedizin und Trainingswissenschaft. *Zeitschrift für angewandte Trainingswissenschaft*, 8 (2), 156–176.
- Berglund, B. & Säfström, H. (1994). Psychological monitoring and modulation of training load of world-class canoeists. *Medicine and science in sports and exercise*, 26 (8), 1036–1040.
- Berntson, G.G., Bigger, J.T., Eckberg, D.L., Grossmann, P., Kaufmann, P.G., Malik, M., Nagaraja, H.N., Porges, S.W., Saul, J.P., Stone, P.H. & van der Molen, M.W. (1997). Heart rate variability: Origins, methods, and interpretative caveats. *Psychophysiology*, 34 (6), 623–648.
- Billat, V.L., Flechet, B., Petit, B., Muriaux, G. & Koralsztein, J.P. (1999). Interval training at VO<sub>2</sub>max: effects on aerobic performance and overtraining markers. *Medicine and science in sports and exercise*, 31 (1), 156–163.
- Birrer, D. (2004). Einsatz psychometrischer Instrumente in der Übertrainingsdiagnostik. *Schweizerische Zeitschrift für Sportmedizin und Sporttraumatologie*, 52 (2), 57–61.

- Boardman, A., Schlindwein, F.S., Rocha, A.P. & Leite, A. (2002). A study on the optimum order of autoregressive models for heart rate variability. *Physiological measurement*, 23 (2), 325–336.
- Borg, G. (1998). *Borg's perceived exertion and pain scales*. Champaign, IL etc.: Human Kinetics.
- Bosquet, L., Leger, L. & Legros, P. (2001). Blood lactate response to overtraining in male endurance athletes. Reaktion des Blutlaktats auf Uebertraining bei maennlichen Ausdauersportlern. *European journal of applied physiology*, 84 (1-2), 107–114.
- Bosquet, L., Merkari, S., Arvisais, D. & Aubert, A.E. (2008). Is heart rate a convenient tool to monitor overreaching? A systematic review of the literature. *British Journal of Sports Medicine* (42), 709–714.
- Bottomley, M.B. (1989). The stale athlete. Der lustlose Sportler. *Athletics Coach*, 23 (3), 25–26.
- Bouchard, C. & Rankinen, T. (2001). Individual differences in response to regular physical activity. *Medicine and science in sports and exercise*, 33 (6 Suppl), S446-51; discussion S452-3.
- Boutcher, S.H. & Stein, P. (1995). Association between heart rate variability and training response in sedentary middle-aged men. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, 70 (1), 75–80.
- Brennan, M., Palaniswami, M. & Kamen, P. (2001). Do existing measures of poincare plot geometry reflect nonlinear features of heart rate variability? *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 48 (11), 1342–1347.
- Brenner, J.S. (2009). Overuse Injuries, Overtraining, and Burnout in Child and Adolescent Athletes. *American Academy of Pediatrics*, 119 (6), 1242–1245.
- Brorson, L., Conradson, T.B., Olsson, B. & Varnauskas, E. (1976). Right atrial monophasic action potential and effective refractory periods in relation to physical training and maximal heart rate. *Cardiovascular Research*, 10 (2), 160–168.
- Budgett, R. (1998). Fatigue and underperformance in athletes: the overtraining syndrome. *British journal of sports medicine*, 32 (2), 107–110.
- Budgett, R., Newsholme, E., Lehmann, M., Sharp, C., Jones, D., Peto, T., Collins, D., Nerurkar, R. & White, P. (2000). Redefining the overtraining syndrome as the unexplained underperformance syndrome. *British journal of sports medicine*, 34 (1), 67–68.
- Clark, M.S. (Hrsg.) (1992). *Review of personality and social psychology* (13). Newbury Park, CA: Sage.
- Convertino, V.A. (1983). Heart rate and sweat rate responses associated with exercise-induced hypervolemia. *Medicine and science in sports and exercise*, 15 (1), 77–82.
- Costill, D.L., Flynn, M.G., Kirwan, J.P., Houmard, J.A., Mitchell, J.B., Thomas, R. & Park, S.H. (1988). Effects of repeated days of intensified training on muscle glycogen and swimming performance. *Medicine and science in sports and exercise*, 20 (3), 249–254.
- Cottin, F. (2007). Effects of a 24-h continuous walking race on cardiac autonomic control. *European journal of applied physiology* (99), 245–250.
- Coutts, A., Reaburn, P., Piva, T.J. & Murphy, A. (2007). Changes in selected biochemical, muscular strength, power, and endurance measures during deliberate overreaching and tapering in rugby league players. *International journal of sports medicine*, 28 (2), 116–124. unter doi:10.1055/s-2006-924145.
- Coutts, A.J., Wallace, L.K. & Slaterry, K.M. (2007). Monitoring changes in performance, physiology, biochemistry, and psychology during overreaching and recovery in triathletes. *International journal of sports medicine*, 28 (2), 125–134. unter doi:10.1055/s-2006-924146.
- Coutts, A.J., Reaburn, P., Piva, T.J. & Rowsell, G.J. (2007). Monitoring for overreaching in rugby league players. *European journal of applied physiology*, 99 (3), 313–324. unter doi:10.1007/s00421-006-0345-z.
- Coutts, A.J., Slaterry, K.M. & Wallace, L.K. (2007). Practical tests for monitoring performance, fatigue and recovery in triathletes. *Journal of science and medicine in sport/Sports Medicine Australia*, 10 (6), 372–381. unter doi:10.1016/j.jsams.2007.02.007.
- Derman, W., Schweltnus, M.P., Lambert, M.I., Emms, M., Sinclair-Smith, C., Kirby, P. & Noakes, T.D. (1997). The 'worn-out athlete': A clinical approach to chronic fatigue in athletes. *Journal of Sports Sciences*, 15, 341–351.
- Dickhuth, H.-H. (2000). *Einführung in die Sport- und Leistungsmedizin*. Schorndorf: Hofmann.
- Donovan, C.M. & Brooks, G.A. (1983). Endurance training affects lactate clearance, not lactate production. *The American journal of physiology*, 244 (1), E83-92.

- Dressendorfer, R.H., Wade, C.E. & Scaff, J.H. (1985). Increased morning heart rate in runners, a valid sign of overtraining? Erhoehte Herzfrequenz am Morgen bei Laeufern, ein gueltiges Zeichen fuer Uebertraining? *Physician and Sports Medicine*, 13 (8), 77–86.
- Dupuy, O., Renaud, M., Bherer, L. & Bosquet, L. (2010). Effect of functional overreaching on executive functions. *International journal of sports medicine*, 31 (9), 617–623. unter doi:10.1055/s-0030-1255029.
- Earnest, C.P., Jurca, R., Church, T.S., Chicharro, J.L., Hoyos, J. & Lucia, A. (2004). Relation between physical exertion and heart rate variability characteristics in professional cyclists during the Tour of Spain. *British journal of sports medicine*, 38 (5), 568–575. unter doi:10.1136/bjism.2003.005140.
- Esperer, H.D. (2004). Physiologische Grundlagen der Herzfrequenzvariabilität. In K. Hottenrott (Hrsg.), *Herzfrequenzvariabilität im Fitness- und Gesundheitssport. Symposium am 8. November 2003 in Halle (Saale)* (S. 11–40). Hamburg: Czwalina.
- Falsetti, H.L., Ryan, A.J., Burke, E.R. & Burke, R.E. (1983). Overtraining in athletes - a round table. *Physician and Sports Medicine*, 11 (6), 93–110.
- Ferrauti, A. & Remmert, H. (Hrsg.) (2005). *Trainingswissenschaft im Freizeitsport. Symposium der dvs-Sektion Trainingswissenschaft vom 7.-9. April 2005 in Bochum* (Schriften der deutschen Vereinigung für Sportwissenschaft, 157). Hamburg: Czwalina.
- Fields, K.B., Delaney, M. & Hinkle, J.S. (1990). A prospective study of type A behavior and running injuries. *The Journal of family practice*, 30 (4), 425–429.
- Filaire, E., Legrand, B., Lac, G. & Pequignot, J.-M. (2004). Training of elite cyclists: effects on mood state and selected hormonal responses. *Journal of Sports Sciences*, 22, 1025–1033.
- Foster, C. (1998). Monitoring training in athletes with reference to overtraining syndrome. *Medicine and science in sports and exercise*, 30 (7), 1164–1168.
- Foster, C., Daines, E., Hector, L., Snyder, A.C. & Welsh, R. (1996). Athletic performance in relation to training load. *Wisconsin medical journal*, 95 (6), 370–374.
- Foster, C., Snyder, C., Thompson, N.N. & Kuettel, K. (1988). Normalization of the Blood Lactate Profile in Athletes. *International journal of sports medicine*, 9 (3), 198–200.
- Fry, R.W., Grove, J.R., Morton, A.R., Zeroni, P.M., Gaudieri, S. & Keast, D. (1994). Psychological and immunological correlates of acute overtraining. *British Journal of Sports Medicine*, 28 (4), 241–246.
- Fry, R.W., Morton, A.R., Garcia-Webb, P., Crawford, G.P. & Keast, D. (1992). Biological responses to overload training in endurance sports. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, 64 (4), 335–344.
- Fry, R.W., Morton, A.R. & Keast, D. (1991). Overtraining in athletes. An update. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 12 (1), 32–65.
- Gaesser, G.A. & Poole, D.C. (1988). Blood lactate during exercise: time course of training adaptation in humans. *International journal of sports medicine*, 9 (4), 284–288. unter doi:10.1055/s-2007-1025023.
- Gall, B., Parkhouse, W. & Goodman, D. (2004). Heart rate variability of recently concussed athletes at rest and exercise. *Medicine and science in sports and exercise*, 36 (8), 1269–1274.
- Gamelin, F.X., Berthoin, S., Sayah, H., Libersa, C. & Bosquet, L. (2007). Effect of training and detraining on heart rate variability in healthy young men. Auswirkung von Training und Trainingsabbruch auf die Herzfrequenzvariabilität bei gesunden jungen Männern. *International journal of sports medicine*, 28 (7), 564–570.
- Garcin, M., Fleury, A. & Billat, V. (2002). The ratio HLa. RPE as a tool to appreciate overreaching in young high-level middle-distance runners. *International journal of sports medicine*, 23 (1), 16–21. unter doi:10.1055/s-2002-19275.
- Gastmann, U.A. & Lehmann, M.J. (1998). Overtraining and the BCAA hypothesis. *Medicine and science in sports and exercise*, 30 (7), 1173–1178.
- Gendolla, G.H.E. (2000). On the impact of mood behavior: An integrative theory and review. *Review of General Psychology*, 4 (4), 378–408.
- Gilder, M. & Ramsbottom, R. (2008). Change in heart rate variability following orthostasis relates to volume of exercise in healthy women. *Autonomic neuroscience : basic & clinical*, 143 (1-2), 73–76. unter doi:10.1016/j.autneu.2008.06.002.

- Gleeson, M., Blannin, A.K., Walsh, N.P., Field, C.N. & Pritchard, J.C. (1998). Effect of exercise-induced muscle damage on the blood lactate response to incremental exercise in humans. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, 77 (3), 292–295.
- Gleeson, M. (1998). Overtraining and stress responses. *Sports Exercise and Injury* (4), 62–68.
- Gleeson, M. (2006). Immune system adaptation in elite athletes. *Current opinion in clinical nutrition and metabolic care*, 9 (6), 659–665. unter doi:10.1097/01.mco.0000247476.02650.18.
- Goldsmith, R.L., Bigger, J.T., Bloomfield, D.M. & Steinman, R.C. (1997). Physical fitness as a determinant of vagal modulation. Koerperliche Fitness als Determinante der Variabilität des Vagotonus. *Medicine and science in sports and exercise*, 29 (6), 812–817.
- González-Boto, R., Salguero, A., Tuero, C., González-Gallego, J. & Márquez, S. (2008). Monitoring the effects of training load changes on stress and recovery in swimmers. *Journal of Physiology & Biochemistry*, 64, 19–26.
- Goss, J.D. (1994). Hardiness and mood disturbances in swimmers while overtraining. Leistungswille und Stimmungsschwankungen bei Schwimmern beim Uebertraining. *Journal of sport & exercise psychology*, 16 (2), 135–149.
- Gould, D., Greenleaf, C., Guinan, D., Medbery, R., Strickland, M., Lauer, L., Chung, Y. & Peterson, K. (1998). Factors influencing Atlanta Olympian performance. *Olympic Coach*, 8 (4), 9–11.
- Gullstrand, L. (1993). Schwimmen. In R.J. Shephard, G. Rost & P.-O. Åstrand (Hrsg.), *Ausdauer im Sport. Eine Veröffentlichung des IOC in Zusammenarbeit mit der FIMS* (Enzyklopädie der Sportmedizin, S. 513–522). Köln: Deutscher Ärzte-Verlag.
- Hackney, A.C., Pearman, J.M. & Nowacki, J.M. (1990). Physiological profiles of overtrained and stale athletes: a review. *Journal of applied sport psychology*, 2 (1), 21–33.
- Halsen, S.L., Bridge, M.W., Meeusen, R., Busschaert, B., Gleeson, M., Jones, D.A. & Jeukendrup, A.E. (2002). Time course of performance changes and fatigue markers during intensified training in trained cyclists. *Journal of applied physiology* (Bethesda, Md. : 1985), 93 (3), 947–956. unter doi:10.1152/jappphysiol.01164.2001.
- Halsen, S.L. & Jeukendrup, A.E. (2004). Does overtraining exist? An analysis of overreaching and overtraining research. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 34 (14), 967–981.
- Halsen, S.L., Lancaster, G.I., Jeukendrup, A.E. & Gleeson, M. (2003). Immunological responses to overreaching in cyclists. *Medicine and science in sports and exercise*, 35 (5), 854–861. unter doi:10.1249/01.MSS.0000064964.80040.E9.
- Hartley, L.H., Grimby, G., Kilbom, A., Nilsson, N.J., Astrand, I., Bjure, J., Ekblom, B. & Saltin, B. (1969). Physical training in sedentary middle-aged and older men. 3. Cardiac output and gas exchange asubmaximal and maximal exercise. *Scandinavian journal of clinical and laboratory investigation*, 24 (4), 335–344.
- Hartmann, U. & Mester, J. (2000). Training and overtraining markers in selected sport events. *Medicine and science in sports and exercise*, 32 (1), 209–215.
- Hedelin, R., Bjerle, P. & Henriksson-Larsén, K. (2001). Heart rate variability in athletes: relationship with central and peripheral performance. *Medicine and science in sports and exercise*, 33 (8), 1394–1398.
- Hedelin, R., Kenttä, G., Wiklund, U., Bjerle, P. & Henriksson-Larsén, K. (2000). Short-term overtraining: effects on performance, circulatory responses, and heart rate variability. *Medicine and science in sports and exercise*, 32 (8), 1480–1484.
- Hedelin, R., Wiklund, U., Bjerle, P. & Henriksson-Larsén, K. (2000). Cardiac autonomic imbalance in an overtrained athlete. Störung der autonomen Herzregulation bei einem uebertrainierten Sportler. *Medicine and science in sports and exercise*, 32 (9), 1531–1533.
- Held, T. & Marti, B. (1999). Substantial influence of level of endurance capacity on the association of perceived exertion with blood lactate accumulation. Das Niveau der Ausdauerleistungsfähigkeit hat erheblichen Einfluss auf den Zusammenhang zwischen Belastungswahrnehmung und Blutlaktatanstieg. *International journal of sports medicine*, 20 (1), 34–39.
- Hendrickson, C.D. & Verde, T.J. (1994). Inadequate recovery from vigorous exercise. Recognizing overtraining. Ungenuegende Regeneration nach erschöpfendem Training. Uebertraining erkennen. *Physician and Sports Medicine*, 22 (5), 56–64.
- Hickson, R.C., Hagberg, J.M., Ehsani, A.A. & Holloszy, J.O. (1981). Time course of the adaptive responses of aerobic power and heart rate to training. *Medicine and science in sports and exercise*, 13 (1), 17–20.

- Hollander, D.B., Meyers, M.C. & LeUnes, A. (1995). Psychological factors associated with overtraining: Implications for youth sport coaches. *Psychologische Faktoren im Zusammenhang mit Uebertraining: Folgerungen fuer Trainer im Jugendsport. Journal of sport behavior*, 18 (1), 3–20.
- Holmes, G.P., Kaplan, J.E., Gantz, N.M., Komaroff, A.L., Schonberger, L.B., Straus, S.E., Jones, J.F., Dubois, R.E., Cunningham-Rundles, C. & Pahwa, S. (1988). Chronic fatigue syndrome: a working case definition. *Annals of internal medicine*, 108 (3), 387–389.
- Höltke, V. (2003). *Grundlagen und Prinzipien des sportlichen Trainings*. Lüdenscheid.
- Höltke, V., Steuer, M., Krakor, S. & Jakob, E. (2005). Zur Entwicklung der psychischen Befindlichkeit während einer sechsmonatigen Vorbereitung auf einen Marathonlauf. In A. Ferrauti & H. Remmert (Hrsg.), *Trainingswissenschaft im Freizeitsport. Symposium der dvs-Sektion Trainingswissenschaft vom 7.-9. April 2005 in Bochum* (Schriften der deutschen Vereinigung für Sportwissenschaft, 157, S. 84–87). Hamburg: Czwalina.
- Hooper, S.L., Mackinnon, L.T., Howard, A., Gordon, R.D. & Bachmann, A.W. (1995). Markers for monitoring overtraining and recovery. Messbare Merkmale des Uebertrainings und der Regeneration. *Medicine and science in sports and exercise*, 27 (1), 106–112.
- Hoos, O. (2009). Herzfrequenzvariabilität und Physiotherapie – Grundlagen, Methoden und Anwendungen. *Zeitschrift für Physiotherapeuten* (3), 277–282.
- Hoos, O. (2006). Spektralanalyse der Herzfrequenzvariabilität im Sport - Methoden und Anwendungen, Möglichkeiten und Grenzen. In K. Hottenrott (Hrsg.), *Herzfrequenzvariabilität: Methoden und Anwendungen in Sport und Medizin. Internationales Symposium am 5. November 2005 in Halle (Saale)* (162, S. 28–55). Hamburg: Czwalina.
- Horn, A., Schulz, H. & Heck, H. (2004). Einfluss der Belastungsintensität auf den Zusammenhang zwischen Ausdauerleistungsfähigkeit und Herzfrequenzvariabilität. In D. Jeschke & R. Lorenz (Hrsg.), *Sportmedizinische Trainingssteuerung, Sport – Prävention – Therapie* (S. 185–193): Strauß.
- Horn, A. (2003). *Diagnostik der Herzfrequenzvariabilität in der Sportmedizin. Rahmenbedingungen und methodische Grundlagen*. Dissertation. Bochum.
- Hottenrott, K. (Hrsg.) (2004). *Herzfrequenzvariabilität im Fitness- und Gesundheitssport. Symposium am 8. November 2003 in Halle (Saale)*. Hamburg: Czwalina.
- Hottenrott, K., Hoos, O. & Esperer, H.D. (2006). Herzfrequenzvariabilität und Sport. *Herz*, 31 (6), 544–552.
- Hottenrott, K. (2002). Grundlagen zur Herzfrequenzvariabilität und Anwendungsmöglichkeiten im Sport. In K. Hottenrott (Hrsg.), *Herzfrequenzvariabilität im Sport - Prävention, Rehabilitation und Training* (Schriften der deutschen Vereinigung für Sportwissenschaft, 129, S. 9–25). Hamburg: Czwalina.
- Hottenrott, K. (Hrsg.) (2002). *Herzfrequenzvariabilität im Sport - Prävention, Rehabilitation und Training* (Schriften der deutschen Vereinigung für Sportwissenschaft, 129). Hamburg: Czwalina.
- Hottenrott, K. (2003). Die Herzfrequenzvariabilität. *Condition*, 34 (4), 30–33.
- Hottenrott, K. (2003). Die Herzfrequenzvariabilität (Teil 2). *Condition*, 34 (5), 30–33.
- Hottenrott, K. (Hrsg.) (2006). *Herzfrequenzvariabilität: Methoden und Anwendungen in Sport und Medizin. Internationales Symposium am 5. November 2005 in Halle (Saale)* (162). Hamburg: Czwalina.
- Hottenrott, K. (2006). *Herzfrequenzvariabilität: Methoden und Anwendungen in Sport und Medizin. Internationales Symposium am 5. November 2005 in Halle (Saale)*. Hamburg: Czwalina.
- Hynynen, E., Uusitalo, A., Konttinen, N. & Rusko, H. (2008). Cardiac autonomic responses to standing up and cognitive task in overtrained athletes. *International journal of sports medicine*, 29 (7), 552–558. unter doi:10.1055/s-2007-989286.
- Hynynen, E., Uusitalo, A., Konttinen, N. & Rusko, H. (2006). Heart rate variability during night sleep and after awakening in overtrained athletes. *Medicine and science in sports and exercise*, 38 (2), 313–317. unter doi:10.1249/01.mss.0000184631.27641.b5.
- Iellamo, F., Legramante, J.M., Pigozzi, F., Spataro, A., Norbiato, G., Lucini, D. & Pagani, M. (2002). Conversion from vagal to sympathetic predominance with strenuous training in high-performance world class athletes. *Circulation*, 105 (23), 2719–2724.
- Israel, S. (1976). Zur Problematik des Uebertrainings aus internistischer und leistungsphysiologischer Sicht. *Medizin und Sport*, 16 (1), 1–12.



- Iwasaki, K.-I., Zhang, R., Zuckerman, J.H. & Levine, B.D. (2003). Dose-response relationship of the cardiovascular adaptation to endurance training in healthy adults: how much training for what benefit? *Journal of applied physiology* (Bethesda, Md. : 1985), 95 (4), 1575–1583. unter doi:10.1152/japplphysiol.00482.2003.
- Janssen, P.G.J.M. (2001). *Lactate Threshold Training. Running, Cycling, Multisport, Rowing, X-Country Skiing*. Champaign, IL etc.: Human Kinetics.
- Jeschke, D. & Lorenz, R. (Hrsg.) (1998). *Sportartspezifische Leistungsdiagnostik. Energetische Aspekte ; Bericht über das Symposium am 13. und 14. Juni 1997 in München, Lehrstuhl und Poliklinik für präventive und rehabilitative Sportmedizin der Technischen Universität München* (Wissenschaftliche Berichte und Materialien des Bundesinstituts für Sportwissenschaft, 1998,6). Köln: Sport und Buch Strauß.
- Jeschke, D. & Lorenz, R. (Hrsg.) (2004). *Sportmedizinische Trainingssteuerung, Sport – Prävention – Therapie* : Strauß.
- Jeschke, D. & Lorenz, R. (2003). *Sportmedizinische Trainingssteuerung. Sport - Prävention - Therapie ; Bericht über das Sportmedizinische Symposium vom 11.-12. Oktober 2002 in München* (1. Aufl.). Köln: Sport und Buch Strauß.
- Jeukendrup, A.E. & Hesselink, M.K. (1994). Overtraining--what do lactate curves tell us? *British Journal of Sports Medicine*, 28 (4), 239–240.
- Jeukendrup, A.E., Hesselink, M.K., Snyder, A.C., Kuipers, H. & Keizer, H.A. (1992). Physiological changes in male competitive cyclists after two weeks of intensified training. *International journal of sports medicine*, 13 (7), 534–541.
- Jugde, L. & Potteiger, J.A. (2000). Using a battery of tests to identify overtraining in throwers. Der Einsatz einer Testbatterie zur Identifikation des Uebertrainings bei Werfern. *Modern athlete and coach*, 38 (1), 8–12.
- Karvonen, J. (1992). Overtraining. *Medicine in sports training and coaching* (35), 174–188.
- Karvonen, J., Kentala, E. & Mustala, O. (1957). The effects of training on heart rate; a longitudinal study. *Annales medicinae experimentalis et biologiae Fenniae*, 35 (3), 307–315.
- Kasikcioglu, E., Oflaz, H., Oncul, A., Kayserilioglu, A., Umman, S. & Nisanci, Y. (2008). The trivest in overreaching syndrome: cardiac fatigue, muscular weakness, and vascular dysfunction. *International journal of cardiology*, 127 (3), 417–419. unter doi:10.1016/j.ijcard.2007.04.089.
- Katona, P.G., McLean, M., Dighton, D. H. & Guz, A. (1982). Sympathetic and parasympathetic cardiac control in athletes and nonathletes at rest. *Journal of applied physiology: respiratory, environmental and exercise physiology*, 52 (6), 1652–1657.
- Kayser, B. & Gremion, G. (2004). Chronic fatigue and loss of performance in endurance athletes: overtraining. *Schweizerische Zeitschrift für Sportmedizin und Sporttraumatologie*, 52 (1), 6–10.
- Kellmann, M. (2000). Psychologische Methoden der Erholungs-Beanspruchungs-Diagnostik. Psychological methods for the assessment of recovery and stress. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 51 (7,8), 253–257.
- Kellmann, M. & Golenia, M. (2003). Skalen zur Erfassung der aktuellen Befindlichkeit im Sport. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 54 (11), 329–330.
- Kenttä, G. & Hassmén, P. (1998). Overtraining and Recovery. A Conceptual Model. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 26 (1), 1–16.
- Kenttä, G., Hassmén, P. & Raglin, J.S. (2001). Training practices and overtraining syndrome in Swedish age-group athletes. *International journal of sports medicine*, 22 (6), 460–465.
- Kindermann, W. (1986). Das Übertraining - Ausdruck einer vegetativen Fehlsteuerung. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin* (8), 238–245.
- Kingsbury, K.J., Kay, L. & Hjelm, M. (1998). Contrasting plasma free amino acid patterns in elite athletes: association with fatigue and infection. *British journal of sports medicine*, 32 (1), 25–32; discussion 32–3.
- Kiviniemi, A.M., Hautala, A.J., Kinnunen, H. & Tulppo, M.P. (2007). Endurance training guided individually by daily heart rate variability measurements. *European journal of applied physiology*, 101 (6), 743–751. unter doi:10.1007/s00421-007-0552-2.
- Kiviniemi, A.M., Hautala, A.J., Mäkilallio, T.H., Seppänen, T., Huikuri, H.V. & Tulppo, M.P. (2006). Cardiac vagal outflow after aerobic training by analysis of high-frequency oscillation of the R-R interval. *European journal of applied physiology*, 96 (6), 686–692. unter doi:10.1007/s00421-005-0130-4.

- Klinke, R., Pape, H.-C. & Silbernagl, S. (2005). *Lehrbuch der Physiologie* (5., komplett überarb. Aufl.). Stuttgart: Thieme.
- Komi, P.V. & Nicol, C. (2000). Stretch-shortening cycle fatigue. In B.M. Nigg, B.R. MacIntosh & J. Mester (Hrsg.), *Biomechanics and biology of movement*. Champaign, Ill.: Human Kinetics.
- König, B.O., Schumacher, Y.O., Schmidt-Trucksäss, A. & Berg, A. (2003). Herzfrequenzvariabilität - Schon reif für die Praxis? Eine Übersicht. *Leistungssport*, 33 (3), 4–9.
- Koutedakis, Y. & Sharp, N.C. (1998). Seasonal variations of injury and overtraining in elite athletes. *Clinical journal of sport medicine : official journal of the Canadian Academy of Sport Medicine*, 8 (1), 18–21.
- Kraemer, W.J., Fragala, M.S., Watson, G., Volek, J.S., Rubin, M.R., French, D.N., Maresh, C.M., Vingren, J.L., Hatfield, D.L., Spiering, B.A., Yu-Ho, J., Hughes, S.L., Case, H.S., Stuenkel, K.J., Lehmann, D.R., Bailey, S. & Evans, D.S. (2008). Hormonal responses to a 160- km race across frozen Alaska. *British journal of sports medicine*, 42 (2), 116–20; discussion 120. unter doi:10.1136/bjism.2007.035535.
- Krause, S. & Weiß, M. (2002). Psychoneuroimmunologische Indikatoren für Übertraining: Einzelfalldarstellung. In S. Krause & M. Weiß (Hrsg.), *Schwimmen. Biomechanische, sportmedizinische und didaktische Analysen* (S. 73–92): Kovac.
- Krause, S. & Weiß, M. (Hrsg.) (2002). *Schwimmen. Biomechanische, sportmedizinische und didaktische Analysen* : Kovac.
- Kreider, R.B. (Hrsg.) (cop. 1998). *Overtraining in sport*. Champaign, IL etc.: Human Kinetics.
- Kreider, R.B., Fry, A.C. & O'Toole, M.L. (cop. 1998). Overtraining in Sport: Terms, Definitions, and Prevalence. In R.B. Kreider (Hrsg.), *Overtraining in sport* (S. vii–ix). Champaign, IL etc.: Human Kinetics.
- Krug, J. & Minow, H.-J. (Hrsg.) (1995). *Sportliche Leistung und Training. 1. gemeinsames Symposium der dvs-Sektionen Biomechanik, Sportmotorik und Trainingswissenschaft vom 28. -30.9.1994 in Leipzig* (Schriften der deutschen Vereinigung für Sportwissenschaft, 70): Academia Verl.
- Kuhl, U. & Schulz, P. (1986). *Emotionale Belastungen im Sport. Ursachen, Auswirkungen und Interventionen*. Köln: bps-Verlag.
- Kuipers, H. (1998). Training and overtraining: an introduction. Training und Uebertraining: eine Einführung. *Medicine and science in sports and exercise*, 30 (7), 1137–1139.
- Kuipers, H. & Keizer, H.A. (1988). Overtraining in elite athletes. Review and directions for the future. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 6 (2), 79–92.
- Kuipers, H., Verstappen, F.T., Keizer, H.A., Geurten, P. & van Kranenburg, G. (1985). Variability of aerobic performance in the laboratory and its physiologic correlates. *International journal of sports medicine*, 6 (4), 197–201.
- Lakier Smith, L. (2003). Overtraining, excessive exercise, and altered immunity: is this a T helper-1 versus T helper-2 lymphocyte response? *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 33 (5), 347–364.
- Lehmann, M., Baumgartl, P., Wiesenack, C., Seidel, A., Baumann, H., Fischer, S., Spöri, U., Gendrich, G., Kaminski, R. & Keul, J. (1992). Training-overtraining: influence of a defined increase in training volume vs training intensity on performance, catecholamines and some metabolic parameters in experienced middle- and long-distance runners. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, 64 (2), 169–177.
- Lehmann, M., Baur, S., Buck, C., Gastmann, U., Lehmann, C., Liu, Y., Lormes, W., Opitz-Gress, A., Reissnecker, S., Sims, C. & Steinacker, J.M. (1999). Übertraining und Leistungsminderung. Vom harten Training, großer Wettkampfdichte und kurzen Regenerationszeiten. *Leistungssport* (5), 23–29.
- Lehmann, M., Berg, A., Dickhuth, H.H., Jakob, E., Korsten-Reck, U., Stockhausen, W. & Keul, J. (1989). Zur Bedeutung von Katecholamin- und Adrenorezeptorenverhalten für Leistungsdiagnostik und Trainingssteuerung. *Leistungssport*, 19 (1), 14–21.
- Lehmann, M., Dickhuth, H.H., Gendrich, G., Lazar, W., Thum, M., Kaminski, R., Aramendi, J.F., Peterke, E., Wieland, W. & Keul, J. (1991). Training-overtraining. A prospective, experimental study with experienced middle- and long-distance runners. *International journal of sports medicine*, 12 (5), 444–452.
- Lehmann, M., Dickhuth, H.H., Jakob, E., Stockhausen, W., Huber, G., Gendrich, G. & Keul, J. (1990). Sympathikus, Training und Übertraining. *Leistungssport* (2), 19–24.

- Lehmann, M., Foster, C., Gastmann, U., Keizer, H. & Steinacker, J.M. (Hrsg.) (1999). *Overload, Performance Incompetence, and Regeneration in Sport*. Berlin: Springer.
- Lehmann, M., Foster, C., Netzer, N., Lormes, W., Steinacker, J.M., Liu, Y., Opitz-Gress, A. & Gastmann, U. (cop. 1998). Physiological Responses to Short- and Long-Term Overtraining in Endurance Athletes. Physiologische Reaktionen auf akutes und chronisches Uebertraining bei Ausdauersportlern. In R.B. Kreider (Hrsg.), *Overtraining in sport* (S. 19–46). Champaign, IL etc.: Human Kinetics.
- Lehmann, M., Gastmann, U., Baur, S., Yufei, L., Lormes, W., Opitz-Gress, A., Reißnecker, S., Simsch, C. & Steinacker, J.M. (1999). Selected parameters and mechanisms of peripheral and central fatigue and regeneration in overtrained athletes. In M. Lehmann, C. Foster, U. Gastmann, H. Keizer & J.M. Steinacker (Hrsg.), *Overload, Performance Incompetence, and Regeneration in Sport* (S. 7–25). Berlin: Springer.
- Lehmann, M., Gastmann, U., Petersen, K.G., Bachl, N., Seidel, A., Khalaf, A.N., Fischer, S. & Keul, J. (1992). Training-overtraining: performance, and hormone levels, after a defined increase in training volume versus intensity in experienced middle- and long-distance runners. *British Journal of Sports Medicine*, 26 (4), 233–242.
- Lehmann, M., Knizia, K., Gastmann, U., Petersen, K.G., Khalaf, A.N., Bauer, S., Kerp, L. & Keul, J. (1993). Influence of 6-week, 6 days per week, training on pituitary function in recreational athletes. *British Journal of Sports Medicine*, 27 (3), 186–192.
- Lehmann, M., Petersen, K.G., Liu, Y., Gastmann, U., Lormes, W. & Steinacker, J.M. (2000). Chronische und erschöpfende Belastungen im Sport - Einfluss von Leptin und Inhibin. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 51 (7), 234–243.
- Lehmann, M., Schnee, W., Scheu, R., Stockhausen, W. & Bachl, N. (1992). Decreased nocturnal catecholamine excretion: parameter for an overtraining syndrome in athletes? Abfall der nächtlichen Katecholaminausscheidung: Parameter eines Uebertrainingssyndroms bei Sportlern? *International journal of sports medicine*, 13 (3), 236–242.
- Lehmann, M.J., Lormes, W., Opitz-Gress, A., Steinacker, J.M., Netzer, N., Foster, C. & Gastmann, U. (1997). Training and overtraining: an overview and experimental results in endurance sports. *The Journal of sports medicine and physical fitness*, 37 (1), 7–17.
- Lehmann, M.J., Steinacker, J.M. & Gastmann, U. (1998). Vom Uebertraining zur Leistungsminderung oder Superkompensation. *Sportorthopädie, Sporttraumatologie*, 14 (4), 181–185.
- Lehmann, M. (Hrsg.) (1999). *Overload, performance incompetence, and regeneration in sport. [proceedings of the International Conference on Overload Fatigue Performance Incompetence and Regeneration held November 8 1997 in Ulm Germany]*. New York [u.a.]: Kluwer Acad. [u.a.].
- Lehmann, M., Foster, C. & Keul, J. (1993). Overtraining in endurance athletes: a brief review. Uebertraining bei Ausdauersportlern: ein kurzer Ueberblick. *Medicine and science in sports and exercise*, 25 (7), 854–862.
- Lehnertz, K. (1985). *Die Bedeutung elastischer Muskelkomponenten für die Gestaltung schlagartiger Bewegungen im Sport. Ein Beitrag zum Thema Kraft- und Bewegungsschnelligkeit*.
- Leicht, A.S., Sinclair, W.H. & Spinks, W.L. (2008). Effect of exercise mode on heart rate variability during steady state exercise. *European journal of applied physiology*, 102 (2), 195–204. unter doi:10.1007/s00421-007-0574-9.
- Lemyre, P.-N., Roberts, G.C. & Stray-Gundersen, J. (2007). Motivation, overtraining, and burnout: Can self-determined motivation predict overtraining and burnout in elite athletes? *European Journal of Sport Science*, 7 (2), 115–126.
- Lester, F.M., Sheffield, L.T. & Reeves, T.J. (1967). Electrocardiographic changes in clinically normal older men following near maximal and maximal exercise. *Circulation*, 36 (1), 5–14.
- Lester, M., Sheffield, L.T., Trammell, P. & Reeves, T.J. (1968). The effect of age and athletic training on the maximal heart rate during muscular exercise. *American heart journal*, 76 (3), 370–376.
- Loimaala, A., Huikuri, H., Oja, P., Pasanen, M. & Vuori, I. (2000). Controlled 5-mo aerobic training improves heart rate but not heart rate variability or baroreflex sensitivity. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md. : 1985)*, 89 (5), 1825–1829.
- Löllgen, H. (1999). Herzfrequenzvariabilität. *Deutsches Ärzteblatt*, 96 (31-32), 2029–2032.

- Löllgen, H. (2004). Das Anstrengungsempfinden. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin* (55), 299–300.
- Londeree, B.R. & Moeschberger, M.L. (1982). Effect of Age and Other Factors on Maximal Heart Rate. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 53 (4), 297–303.
- MacArdle, W.D., Katch, F.I. & Katch, V.L. (1991). *Exercise physiology. Energy, nutrition, and human performance* (3. ed.). Philadelphia u.a.: Lea & Febiger.
- MacKinnon, L.T. (2000). Special feature for the Olympics: effects of exercise on the immune system: overtraining effects on immunity and performance in athletes. *Immunology and cell biology*, 78 (5), 502–509.
- MacKinnon, L.T. & Hooper, S.L. (1996). Plasma glutamine and upper respiratory tract infection during intensified training in swimmers. *Medicine and science in sports and exercise*, 28 (3), 285–290.
- Main, L.C., Dawson, B., Grove, J.R., Landers, G.J. & Goodman, C. (2009). Impact of training on changes in perceived stress and cytokine production. Der Einfluss des Trainings auf Veränderungen in der Stresswahrnehmung und der Zytokineproduktion. *Research in sports medicine*, 17 (2), 112–123.
- Main, L.C., Dawson, B., Heel, K., Grove, J.R., Landers, G.J. & Goodman, C. (2010). Relationship between inflammatory cytokines and self-report measures of training overload. *Research in sports medicine (Print)*, 18 (2), 127–139. unter doi:10.1080/15438621003627133.
- Marées, H. de (2003). *Sportphysiologie*. Köln: Sport und Buch Strauss.
- Margonis, K., Fatouros, I.G., Jamurtas, A.Z., Nikolaidis, M.G., Douroudos, I., Chatzinikolaou, A., Mitrakou, A., Mastorakos, G., Papassotiriou, I., Taxildaris, K. & Kouretas, D. (2007). Oxidative stress biomarkers responses to physical overtraining: implications for diagnosis. *Free radical biology & medicine*, 43 (6), 901–910. unter doi:10.1016/j.freeradbiomed.2007.05.022.
- Marple, S.L. (1987). *Digital Spectral Analysis*: Prentice Hall International.
- Martin, D., Carl, K. & Lehnertz, K. (1993). *Handbuch Trainingslehre* (2., unveränd. Aufl.). Schorndorf: Hofmann.
- Matos, N.F., Winsley, R.J. & Williams, C.A. (im Druck). Prevalence of Nonfunctional Overreaching/Overtraining in Young English Athletes. *Medicine and science in sports and exercise*. unter doi: 10.1249/MSS.0b013e318207f87b.
- Mayes, R., Hardman, A.E. & Williams, C. (1987). The influence of training on endurance and blood lactate concentration during submaximal exercise. *British journal of sports medicine*, 21 (3), 119–124.
- McNair, D.M. *Profile of Mood States (dt.)*. POMS: Dr. Schuhfried GmbH.
- McNair, D.M., Lorr, M. & Droppleman, L.F. Manual for the Profile of Mood States. San Diego, CA: Educational and Industrial Testing Services.
- Meeusen, R. (1999). Overtraining and the central nervous system – the missing link? In M. Lehmann (Hrsg.), *Overload, performance incompetence, and regeneration in sport. [proceedings of the International Conference on Overload Fatigue Performance Incompetence and Regeneration held November 8 1997 in Ulm Germany]* (S. 187–202). New York [u.a.]: Kluwer Acad. [u.a.].
- Meeusen, R., Duclos, M., Gleeson, M., Rietjens, G., Steinacker, J. & Urhausen, A. (2006). The Overtraining Syndrome – facts and fiction. *European Journal of Sport Science*, 6 (4), 263.
- Meeusen, R., Duclos, M., Gleeson, M., Rietjens, G., Steinacker, J. & Urhausen, A. (2006). Prevention, diagnosis and treatment of the Overtraining Syndrome. ECSS Position Statement 'Task Force'. *European Journal of Sport Science*, 6 (1), 1–14.
- Meeusen, R., Nederhof, E., Buyse, L., Roelands, B., Schutter, G. de & Piacentini, M.F. (2008). Diagnosing overtraining in athletes using the two bout exercise protocol. *British Journal of Sports Medicine*. unter doi:10.1136/bjism.2008.049981.
- Meeusen, R., Watson, P., Hasegawa, H., Roelands, B. & Piacentini, M.F. (2007). Brain neurotransmitters in fatigue and overtraining. *Applied physiology, nutrition, and metabolism = Physiologie appliquée, nutrition et métabolisme*, 32 (5), 857–864. unter doi:10.1139/h07-080.
- Melanson, E.L. (2000). Resting heart rate variability in men varying in habitual physical activity. *Medicine and science in sports and exercise*, 32 (11), 1894–1901.
- Mier, C.M., Turner, M.J., Ehsani, A.A. & Spina, R.J. (1997). Cardiovascular adaptations to 10 days of cycle exercise. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md. : 1985)*, 83 (6), 1900–1906.

- Migliaro, E.R., Contreras, P., Bech, S., Etxagibel, A., Castro, M., Ricca, R. & Vicente, K. (2001). Relative influence of age, resting heart rate and sedentary life style in short-term analysis of heart rate variability. *Brazilian journal of medical and biological research = Revista brasileira de pesquisas médicas e biológicas/Sociedade Brasileira de Biofísica ... [et al.]*, 34 (4), 493–500.
- Moeller, J.L. (2004). The athlete with fatigue. *Current sports medicine reports*, 3 (6), 304–309.
- Mollnhauer, S. (2008). Übertraining. Die richtige Erklärung für ein Leistungstief? *Condition*, 25.
- Moore, C.A. & Fry, A.C. (2007). Nonfunctional overreaching during off-season training for skill position players in collegiate American football. *Journal of strength and conditioning research/National Strength & Conditioning Association*, 21 (3), 793–800. unter doi:10.1519/R-20906.1.
- Morgan, W.P., Brown, D.R., Raglin, J.S., O'Connor, P.J. & Ellickson, K.A. (1987). Psychological monitoring of overtraining and staleness. Psychologische Kontrolle des Uebertrainingszustandes und der Abgestumpftheit. *British Journal of Sports Medicine*, 21 (3), 107–114.
- Morris, W.N. (1992). A functional analysis of the role of mood in affective systems. In M.S. Clark (Hrsg.), *Review of personality and social psychology* (13, S. 256–293). Newbury Park, CA: Sage.
- Mourot, L., Bouhaddi, M., Perrey, S., Cappelle, S., Henriët, M.-T., Wolf, J.-P., Rouillon, J.-D. & Regnard, J. (2004). Decrease in heart rate variability with overtraining: assessment by the Poincaré plot analysis. *Clinical physiology and functional imaging*, 24 (1), 10–18.
- Mourot, L., Bouhaddi, M., Tordi, N., Rouillon, J.-D. & Regnard, J. (2004). Short- and long-term effects of a single bout of exercise on heart rate variability: comparison between constant and interval training exercises. *European journal of applied physiology*, 92 (4-5), 508–517.
- Nederhof, E., Lemmink, K., Zwerver, J. & Mulder, T. (2007). The effect of high load training on psychomotor speed. Auswirkung von Training mit hoher Belastung auf die psychomotorische Geschwindigkeit. *International journal of sports medicine*, 28 (7), 595–601.
- Nederhof, E., Zwerver, J., Brink, M., Meeusen, R. & Lemmink, K. (2008). Different diagnostic tools in nonfunctional overreaching. Verschiedene diagnostische Verfahren für nicht-funktionales Übertraining. *International journal of sports medicine*, 29 (7), 590–597.
- Neumann, G. & Berbalk, A. (2000). Grenzen der menschlichen Leistungsfähigkeit in den Ausdauersportarten. *Leistungssport*, 30 (1), 24–30.
- Nicol, C. & Komi, P.V. (1998). Significance of passively induced stretch reflexes on achilles tendon force enhancement. *Muscle & nerve*, 21 (11), 1546–1548.
- Nigg, B.M., MacIntosh, B.R. & Mester, J. (Hrsg.) (2000). *Biomechanics and biology of movement*. Champaign, Ill.: Human Kinetics.
- Nimmo, M.A. & Ekblom, B. (2007). Fatigue and illness in athletes. *Journal of sports sciences*, 25 Suppl 1, S93-102. unter doi:10.1080/02640410701607379.
- Noakes, T.D. (2000). Physiological models to understand exercise fatigue and the adaptations that predict or enhance athletic performance. Physiologische Modelle zum Verstaendnis der Ermuedung unter koerperlicher Belastung sowie der Trainings-Anpassungen, welche sportliche Leistung bedingen oder vergroessern. *Scandinavian journal of medicine and science in sports*, 10 (3), 123–145.
- O'Brien, M.J., Viguie, C.A., Mazzeo, R.S. & Brooks, G.A. (1993). Carbohydrate dependence during marathon running. *Medicine and science in sports and exercise*, 25 (9), 1009–1017.
- O'Connor, P.J., Morgan, W.P., Raglin, J.S., Barksdale, C.M. & Kalin, N.H. (1989). Mood state and salivary cortisol levels following overtraining in female swimmers. *Psychoneuroendocrinology*, 14 (4), 303–310.
- O'Connor, P.J. & Puetz, T.W. (2005). Chronic physical activity and feelings of energy and fatigue. *Medicine and science in sports and exercise*, 37 (2), 299–305.
- O'Toole, M.L. (cop. 1998). Overreaching and Overtraining in Endurance Athletes. Akutes und chronisches Uebertraining bei Ausdauersportlern. In R.B. Kreider (Hrsg.), *Overtraining in sport* (S. 3–17). Champaign, IL etc.: Human Kinetics.
- Pearce, P.Z. (2002). A practical approach to the overtraining syndrome. *Current sports medicine reports*, 1 (3), 179–183.
- Peluso, M.A.M. & de Andrade, L.H.S.G. (2005). Physical activity and mental health: the association between exercise and mood. *Clinics*, 60 (1), 61–70.

- Petermann, F. (1996). *Einzelfalldiagnostik in der klinischen Praxis* (3. Aufl.). Landsberg: Beltz.
- Petibois, C., Cazorla, G., Poortmans, J.-R. & Délérís, G. (2002). Biochemical aspects of overtraining in endurance sports: a review. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 32 (13), 867–878.
- Pichot, V., Roche, F., Gaspoz, J.M., Enjolras, F., Antoniadis, A., Minini, P., Costes, F., Busso, T., Lacour, J.R. & Barthélémy, J.C. (2000). Relation between heart rate variability and training load in middle-distance runners. *Medicine and science in sports and exercise*, 32 (10), 1729–1736.
- Pichot, V., Busso, T., Roche, F., Garet, M., Costes, F., Duverney, D., Lacour, J.-R. & Barthélémy, J.-C. (2002). Autonomic adaptations to intensive and overload training periods: a laboratory study. *Medicine and science in sports and exercise*, 34 (10), 1660–1666. unter doi:10.1249/01.MSS.0000035993.08625.31.
- Pierce, E.F., JR. (2002). Relationship between training volume and mood states in competitive swimmers during a 24-week season. *Perceptual and Motor Skills*, 94, 1009–1012.
- Platen, P., Nüsser, S., Krüger, M., Wöstmann, R., Gelhaar, D., Schulz, H., Hartmann, U., Bartmus, U., Grabow, V. & Heck, H. (2002). Morgendliche Herzfrequenzvariabilität von Triathleten und nächtliche Herzfrequenz bei Ausdauerathleten im Jahresverlauf und deren Beziehung zum absolvierten Training. In K. Hottenrott (Hrsg.), *Herzfrequenzvariabilität im Sport - Prävention, Rehabilitation und Training* (Schriften der deutschen Vereinigung für Sportwissenschaft, 129, S. 95–129). Hamburg: Czwalina.
- Pomeranz, B., Macaulay, R.J., Caudill, M.A., Kutz, I., Adam, D., Gordon, D., Kilborn, K.M., Barger, A.C., Shannon, D.C. & Cohen, R.J. (1985). Assessment of autonomic function in humans by heart rate spectral analysis. *The American journal of physiology*, 248 (1 Pt 2), H151-3.
- Portier, H., Louisy, F., Laude, D., Berthelot, M. & Guézennec, C.Y. (2001). Intense endurance training on heart rate and blood pressure variability in runners. *Medicine and science in sports and exercise*, 33 (7), 1120–1125.
- Purvis, D., Gonsalves, S. & Deuster, P.A. (2010). Physiological and psychological fatigue in extreme conditions: overtraining and elite athletes. *PM & R : the journal of injury, function, and rehabilitation*, 2 (5), 442–450. unter doi:10.1016/j.pmrj.2010.03.025.
- Raedeke, T.D. & Smith, A.L. (2001). Development and Preliminary Validation of an Athlete Burnout Measure. *Journal of sport & exercise psychology*, 23, 281–306.
- Raglin, J. & Barzdukas, A. (1999). Overtraining in Athletes: The Challenge of Prevention. A Consensus Statement. *ACSM'S Health & Fitness Journal*, 3 (2), 27–31.
- Raglin, J., Sawamura, S., Alexiou, S., Hassmen, P. & Kenttae, G. (2000). Training practices and staleness in 13-18-year-old swimmers: a cross-cultural study. Trainingspraxis und Uebertraining bei 13- bis 18jaehrigen Schwimmsportlern: eine multikulturelle Untersuchung. *Pediatric exercise science*, 12 (1), 61–70.
- Raglin, J.S., Morgan, W.P. & O'Connor, P.J. (1991). Changes in mood states during training in female and male college swimmers. *International journal of sports medicine*, 12 (6), 585–589.
- Rauch, H.G., Hawley, J.A., Noakes, T.D. & Dennis, S.C. (1998). Fuel metabolism during ultra-endurance exercise. *Pflügers Archiv : European journal of physiology*, 436 (2), 211–219.
- Reland, S., Ville, N.S., Wong, S., Gauvrit, H., Kervio, G. & Carré, F. (2003). Exercise heart rate variability of older women in relation to level of physical activity. *The journals of gerontology. Series A, Biological sciences and medical sciences*, 58 (7), 585–591.
- Rietjens, G.J.W.M., Kuipers, H., Adam, J.J., Saris, W.H.M., van Breda, E., van Hamont, D. & Keizer, H.A. (2005). Physiological, biochemical and psychological markers of strenuous training-induced fatigue. *International journal of sports medicine*, 26 (1), 16–26. unter doi:10.1055/s-2004-817914.
- Robinson, M.D. (2000). The Reactive and Prospective Functions of Mood: Its Role in Linking Daily Experiences and Cognitive Well-being. *Cognition and Emotion*, 14 (2), 145–176.
- Roeykens, J., Magnus, L., Rogers, R., Meeusen, R. & Meirleir, K. de (1998). Blood ammonia--heart rate relationship during graded exercise is not influenced by glycogen depletion. *International journal of sports medicine*, 19 (1), 26–31. unter doi:10.1055/s-2007-971875.
- Rowbottom, D.G., Keast, D. & Morton, A.R. (cop. 1998). Monitoring and Preventing of Overreaching and Overtraining in Endurance Athletes. In R.B. Kreider (Hrsg.), *Overtraining in sport* (S. 47–66). Champaign, IL etc.: Human Kinetics.

- Rowell, L.B., Taylor, H.L. & Wang, Y. (1964). Limitations to prediction of maximal oxygen intake. *Journal of applied physiology*, 19, 919–927.
- Sadaniantz, A., Yurgalevitch, S., Zmuda, J.M. & Thompson, P.D. (1996). One year of exercise training does not alter resting left ventricular systolic or diastolic function. *Medicine and Science in Sports & Exercise*, 28 (11), 1345–1350.
- Saldanha, P.H., Zavorsky, G.S. & Montgomery, D.L. (1997). Maximum heart rate decreases after 7 weeks of intense training. *Canadian Journal of Applied Physiology*, 22 (Suppl.), Abstract.
- Sandercock, G.R.H. & Brodie, D.A. (2006). The use of heart rate variability measures to assess autonomic control during exercise. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 16 (5), 302–313. unter doi:10.1111/j.1600-0838.2006.00556.x.
- Sandercock, G.R.H., Bromley, P.D. & Brodie, D.A. (2005). Effects of exercise on heart rate variability: inferences from meta-analysis. *Medicine and science in sports and exercise*, 37 (3), 433–439.
- Schandry, R. (2003). *Biologische Psychologie. Ein Lehrbuch* (1. Aufl.). Weinheim [u.a.]: Beltz.
- Schmikli, S.L., Brink, M.S., Vries, W.R. de & Backx, F.J.G. (2010). Can we detect non-functional overreaching in young elite soccer players and middle-long distance runners using field performance tests? *British journal of sports medicine*. unter doi:10.1136/bjsm.2009.067462.
- Schnabel, G., Harre, D. & Borde, A. (1998). *Trainingswissenschaft. Leistung, Training, Wettkampf*. Berlin: Sportverlag.
- Schuit, A.J., van Amelsvoort, L.G., Verheij, T.C., Rijnke, R.D., Maan, A.C., Swenne, C.A. & Schouten, E.G. (1999). Exercise training and heart rate variability in older people. *Medicine and science in sports and exercise*, 31 (6), 816–821.
- Schulz, H., Roßkoth, J. & Heck, H. (1998). Ammoniak- und Laktatverhalten nach unterschiedlichen Ausdauerbelastungen. In D. Jeschke & R. Lorenz (Hrsg.), *Sportartspezifische Leistungsdiagnostik. Energetische Aspekte ; Bericht über das Symposium am 13. und 14. Juni 1997 in München, Lehrstuhl und Poliklinik für präventive und rehabilitative Sportmedizin der Technischen Universität München* (Wissenschaftliche Berichte und Materialien des Bundesinstituts für Sportwissenschaft, 1998,6, S. 303–309). Köln: Sport und Buch Strauß.
- Schulz, T., Bühlmeier, K., Kleinert, J., Lötzerich, H., Peters, C. & Michna, H. (2004). Psycho-neuro-immunologische Reaktionen nach einer maximalen anaeroben Fahrrad-ergometerbelastung. In D. Jeschke & R. Lorenz (Hrsg.), *Sportmedizinische Trainingssteuerung, Sport – Prävention – Therapie* (S. 67–75): Strauß.
- Selye, H. (1978). *The stress of life* (Revised ed.). New York u.a.: McGraw-Hill.
- Shephard, R.J. & Shek, P.N. (1998). Acute and chronic over-exertion: do depressed immune responses provide useful markers? *International journal of sports medicine*, 19 (3), 159–171. unter doi:10.1055/s-2007-971898.
- Shephard, R.J., Rost, G. & Åstrand, P.-O. (1993). *Ausdauer im Sport. Eine Veröffentlichung des IOC in Zusammenarbeit mit der FIMS*. Köln: Deutscher Ärzte-Verlag.
- Sherman, W.M., Costill, D.L., Fink, W.J., Hagerman, F.C., Armstrong, L.E. & Murray, T.F. (1983). Effect of a 42.2- km footrace and subsequent rest or exercise on muscle glycogen and enzymes. *Journal of applied physiology: respiratory, environmental and exercise physiology*, 55 (4), 1219–1224.
- Shin, K., Minamitani, H., Onishi, S., Yamazaki, H. & Lee, M. (1997). Autonomic differences between athletes and nonathletes: spectral analysis approach. *Medicine and science in sports and exercise*, 29 (11), 1482–1490.
- Silva, J.M. (1990). An analysis of the training stress syndrome in competitive athletics. *Journal of applied sport psychology*, 2 (1), 5–20.
- Sims, S. (2001). The Overtraining Syndrome and Endurance Athletes. *Strength and Conditioning Journal*, 23 (1), 45–46.
- Slivka, D.R., Hailes, W.S., Cuddy, J.S. & Ruby, B.C. (2010). Effects of 21 days of intensified training on markers of overtraining. *Journal of strength and conditioning research/National Strength & Conditioning Association*, 24 (10), 2604–2612. unter doi:10.1519/JSC.0b013e3181e8a4eb.
- Smith, L.L. (2000). Cytokine hypothesis of overtraining: a physiological adaptation to excessive stress? *Medicine and science in sports and exercise*, 32 (2), 317–331.

- Smith, R.E., Smoll, F.L. & Ptacek, J.T. (1990). Conjunctive moderator variables in vulnerability and resiliency research: life stress, social support and coping skills, and adolescent sport injuries. *Journal of personality and social psychology*, 58 (2), 360–370.
- Snyder, A.C., Jeukendrup, A.E., Hesselink, M.K., Kuipers, H. & Foster, C. (1993). A physiological/psychological indicator of over-reaching during intensive training. *International journal of sports medicine*, 14 (1), 29–32.
- Snyder, A.C., Kuipers, H., Cheng, B., Servais, R. & Fransen, E. (1995). Overtraining following intensified training with normal muscle glycogen. *Medicine and science in sports and exercise*, 27 (7), 1063–1070.
- Spina, R.J., Ogawa, T., Kohrt, W.M., Martin, W.H., Holloszy, J.O. & Ehsani, A.A. (1993). Differences in cardiovascular adaptations to endurance exercise training between older men and women. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md. : 1985)*, 75 (2), 849–855.
- Spina, R.J., Ogawa, T., Martin, W.H., Coggan, A.R., Holloszy, J.O. & Ehsani, A.A. (1992). Exercise training prevents decline in stroke volume during exercise in young healthy subjects. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md. : 1985)*, 72 (6), 2458–2462.
- Steinacker, J.M., Lormes, W., Kellmann, M., Liu, Y., Reißnecker, S., Opitz-Gress, A., Baller, B., Guenther, K., Petersen, K.G., Kallus, K.W., Lehmann, M. & Altenburg, D. (2000). Training of junior rowers before world championships. Effects on performance, mood states and selected hormonal and metabolic responses. Das Training von Junioren-Rudersportlern vor Weltmeisterschaften. Auswirkungen auf Leistung, Stimmung und ausgewählte hormonelle und metabolische Reaktionen. *The Journal of sports medicine and physical fitness*, 40 (4), 327–335.
- Stone, M.H., Keith, R.E., Kearney, J.T., Fleck, S.J., Wilson, G.D. & Triplett, N.T. (1991). Overtraining: A Review of the Signs, Symptoms and Possible Causes. *Journal of Applied Sport Science Research*, 5 (1), 35–50.
- Tarvainen, M.P. & Niskanen, J.-P. (2008, 16. Oktober). *Kubios HRV. User's Guide*. Zugriff am 20. Oktober 2009 unter [http://kubios.uku.fi/media/Kubios\\_HRV\\_Users\\_Guide.pdf](http://kubios.uku.fi/media/Kubios_HRV_Users_Guide.pdf).
- Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology (1996). Heart rate variability: standards of measurement, physiological interpretation and clinical use. *Circulation*, 93 (5), 1043–1065.
- Teeple, E., Shalvoy, R.M. & Feller, E.R. (2006). Overtraining in young athletes. *Medicine and health, Rhode Island*, 89 (7), 236–238.
- Thomas, J.R., Nelson, J.K. & Silverman, S.J. (2005). *Research Methods in Physical Activity*. Champaign, IL etc.: Human Kinetics.
- Tschopp, M. (2001). *Manual Leistungsdiagnostik Ausdauer*. SOMC Davos, Leukerbad, Magglingen, Muttenz, Zürich. Zugriff am 24. April 2010 unter [www.mesics.de/literatur/](http://www.mesics.de/literatur/).
- Tschopp, M., Held, T., Villiger, B. & Marti, B. (2001). Qualitätsstandards in der Ausdauerleistungsdiagnostik. Ein gemeinsames Projekt von SGSM und «Swiss Olympic». *Schweizerische Zeitschrift für Sportmedizin und Sporttraumatologie*, 49 (2), 57–66.
- Tulppo, M.P., Hautala, A.J., Mäkilä, T.H., Laukkanen, R.T., Nissilä, S., Hughson, R.L. & Huikuri, H.V. (2003). Effects of aerobic training on heart rate dynamics in sedentary subjects. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md. : 1985)*, 95 (1), 364–372. unter doi:10.1152/japplphysiol.00751.2002.
- Urhausen, A., Gabriel, H. & Kindermann, W. (1995). Blood hormones as markers of training stress and overtraining. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 20 (4), 251–276.
- Urhausen, A., Gabriel, H.H. & Kindermann, W. (1998). Impaired pituitary hormonal response to exhaustive exercise in overtrained endurance athletes. *Medicine and science in sports and exercise*, 30 (3), 407–414.
- Urhausen, A., Gabriel, H.H.W., Weiler, B. & Kindermann, W. (1998). Ergometric and psychological findings during overtraining: a long-term follow-up study in endurance athletes. Ergometrische Werte und psychologische Befunde bei Übertraining: eine langfristige Beobachtung an Ausdauersportlern. *International journal of sports medicine*, 19 (2), 114–120.
- Urhausen, A. & Kindermann, W. (2000). Aktuelle Marker für die Diagnostik von Überlastungszuständen in der Trainingspraxis. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 51 (7), 226–233.
- Urhausen, A. & Kindermann, W. (2002). Übertraining. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 53 (4), 121–122.



- Urhausen, A. & Kindermann, W. (2002). Diagnosis of overtraining: what tools do we have? *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 32 (2), 95–102.
- Uusitalo, A.L. (2001). Overtraining: making a difficult diagnosis and implementing targeted treatment. *The Physician and sportsmedicine*, 29 (5), 35–50. unter doi:10.3810/psm.2001.05.774.
- Uusitalo, A.L., Uusitalo, A.J. & Rusko, H.K. (1998). Exhaustive endurance training for 6-9 weeks did not induce changes in intrinsic heart rate and cardiac autonomic modulation in female athletes. *International journal of sports medicine*, 19 (8), 532–540.
- Uusitalo, A.L.T., Huttunen, P., Hanin, Y., Uusitalo, A.J. & Rusko, H.K. (1998). Hormonal responses to endurance training and overtraining in female athletes. Hormonelle Reaktionen auf Ausdauertraining und Uebertraining bei Sportlerinnen. *Clinical Journal of Sport Medicine*, 8 (3), 178–186.
- Uusitalo, A.L.T., Uusitalo, A.J. & Rusko, H.K. (2000). Heart rate blood pressure variability during heavy training and overtraining in the female athlete. Herzfrequenz- und Blutdruckvariabilität während hochintensiven Trainings und im Uebertraining bei Sportlerinnen. *International journal of sports medicine*, 21 (1), 45–53.
- Veale, D.M. (1991). Psychological aspects of staleness and dependence on exercise. *International journal of sports medicine*, 12 Suppl 1, S19–22.
- Verde, T., Thomas, S. & Shephard, R.J. (1992). Potential markers of heavy training in highly trained distance runners. *British Journal of Sports Medicine*, 26 (3), 167–175.
- Vernacchia, R.A. (1997). Psychological perspectives on overtraining. Psychologische Aspekte des Uebertrainings. *Track coach* (138), 4393–4399.
- Vetter, R.E. & Symonds, M.L. (2010). Correlations between injury, training intensity, and physical and mental exhaustion among college athletes. *Journal of strength and conditioning research/National Strength & Conditioning Association*, 24 (3), 587–596. unter doi:10.1519/JSC.0b013e3181c7c2eb.
- Vogel, R. (2001). "Übertraining": Begriffsklärungen, ätiologische Hypothesen, aktuelle Trends und methodische Limiten. "Overtraining": Definitions, hypotheses, recent trends and methodological limitations. *Schweizerische Zeitschrift für Sportmedizin und Sporttraumatologie*, 49 (4), 154–162.
- Vogel, R., Marti, B., Birrer, D., Held, T., Seiler, R. & Hoppeler, H. (2001). Leistungsniveau, Herzfrequenz-Regulation und psychologische Faktoren als potentielle Prädiktoren von Übertraining im Ausdauersport: Ergebnisse einer Prospektivstudie mit Spitzenathleten. *Schweizerische Zeitschrift für Sportmedizin und Sporttraumatologie*, 49 (4), 163–172.
- Voigt, E. (1990). *Übertraining: Entstehungsmechanismen sowie diagnostische und prophylaktische Möglichkeiten*. Dissertation. Leipzig: Zentrum für Wissenschaftsinformation.
- Wegner, M. The preparation and counselling process prior to the olympics: a single-case-analysis of an elite surf athlete. *Ugdymas, Kuno Kultura, Sportas*, 2002 (43), 89–95.
- Wegner, M. (1995). Beanspruchungserleben in Training und Wettkampf - Zeitreihenstudien zur Befindlichkeit und Leistung im Handball. In J. Krug & H.-J. Minow (Hrsg.), *Sportliche Leistung und Training. 1. gemeinsames Symposium der dvs-Sektionen Biomechanik, Sportmotorik und Trainingswissenschaft vom 28. -30.9.1994 in Leipzig* (Schriften der deutschen Vereinigung für Sportwissenschaft, 70, S. 77–82): Academia Verl.
- Wegner, M. (1999). Das Konzept der Kontrollierten Praxis im Behindertensport – Evaluation eines Tanz- und Schwimmprogrammes mit geistig behinderten Erwachsenen. *Motorik* (20), 116–124.
- Weineck, J. (2002). *Sportbiologie* (8. Aufl.). Balingen: Spitta-Verl.
- Wilhelm, A. (1995). *Belastung und Beanspruchung im Wettkampfsport*. Bonn: Holos-Verl.
- Winsley, R.J., Battersby, G.L. & Cockle, H.C. (2005). Heart rate variability assessment of overreaching in active and sedentary females. Messung der Überlastungs-Herzfrequenzvariabilität bei aktiven und körperlich inaktiven Frauen. *International journal of sports medicine*, 26 (9), 768–773.
- Zaryski, C. & Smith, D.J. (2005). Training principles and issues for ultra-endurance athletes. *Current sports medicine reports*, 4 (3), 165–170.
- Zavorsky, G.S. (2000). Evidence and possible mechanisms of altered maximum heart rate with endurance training and tapering. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 29 (1), 13–26.
- Zaza, A. & Lombardi, F. (2001). Autonomic indexes based on the analysis of heart rate variability: a view from the sinus node. *Cardiovascular Research*, 50, 434–442.

Ziemanz, H., Abu-Omar, K., Raedeke, T. & Krause, K. (2004). Burnout im Sport. Zur Prävalenz von Burnout aus bedingungsbezogener Perspektive. *Leistungssport*, 34 (6), 12–17.

## Anhang

Informationen für Athleten .....	350
Verlaufsplan .....	352
Anleitung HF-Messungen.....	353
Vorabfragebogen .....	354
Befindlichkeitsfragebogen .....	355
Trainingsprotokoll .....	363
Wettkampfprotokoll.....	365
Informationen Leistungstest.....	367
Stufentest Laufband .....	368
Fragebogen zum Abschluss des Deutschlandlaufs .....	370
Borg-Skala .....	373
Institutsliste .....	374
SPSS-Syntax .....	375
Lebenslauf .....	376

**Studie zum Thema:**  
**Physiologische und psychologische Prädiktoren von**  
**Übertraining**

**Informationen für Athleten**

Die Studie, an der Sie teilnehmen, hat das Ziel, Veränderungen von Parametern die als Indikatoren für Überbelastungen durch Training oder Wettkampf gelten, frühzeitig und individuell festzustellen. Zu diesem Zweck werden zunächst über einen Zeitraum von zwei Wochen individuelle Normbereiche für folgende Parameter definiert:

- + Ihre Herzfrequenzvariabilität morgens nach dem Aufwachen
- + Ihre Ruheherzfrequenz morgens nach dem Aufwachen
- + Ihre Befindlichkeit
- + Ihre Leistungsfähigkeit

Der gewählte Zeitraum sollte den Trainingsumfang des Jahresdurchschnitts nicht überschreiten, es sollte also gewährleistet sein, dass Sie in dieser Trainingsphase nicht überlastet sind.

Zusätzlich werden Ihre Trainingsinhalte und Wettkampfleistungen dokumentiert, dazu erhalten Sie vorgefertigte Protokollbögen. Der wichtigste Bestandteil ist für uns Ihr täglicher Trainingsumfang beim Ausdauertraining.

Die Teilnahme an der Studie erfordert von Ihnen einen zeitlichen Mehraufwand und eine gewissenhafte Bearbeitung der Protokolle und Fragebögen über einen Zeitraum von mehreren Wochen. Gleichzeitig erhalten Sie durch die Teilnahme individuelle Rückmeldungen über den Zusammenhang von Training und Wettkampf und psychischen und physiologischen Veränderungen. Sie erhalten von uns eine Auswertung der gesamten Ergebnisse als Trainings- und Wettkampfmonitoring, das für Sie eine zukünftige Hilfe beim frühzeitigen Erkennen von Überbelastungen darstellen soll.

## Was muss ich alles tun?

### A) Trainingsprotokolle und Wettkampfprotokolle

- + Füllen Sie die Trainingsprotokolle bitte an **jedem Trainingstag** aus
- + Füllen Sie die Wettkampfprotokolle nur während des Deutschlandlaufs und an Wettkampftagen aus (vor und nach dem Wettkampf)
- + Die Zeitangaben für die Belastungsdauer im Wettkampfprotokoll beziehen sich auf die erreichte Zeit beim jeweiligen Wettkampf
- + Das Anstrengungsempfinden in den Trainings- und Wettkampfprotokollen wird mit Hilfe der Borg-Skala ermittelt (siehe Erläuterungen Borg-Skala)
- + Füllen Sie bitte für jeden Untersuchungstag den Verlaufsplan aus
- + Teilen Sie uns eventuelle Schwierigkeiten beim Ausfüllen der Protokolle bitte mit

### B) Fragebögen zur Befindlichkeit

- + Füllen Sie die Fragebögen zum Befinden bitte **täglich**, mindestens aber dreimal wöchentlich aus, morgens beim oder nach dem Frühstück (je identischer die Uhrzeit, desto besser)
- + Notieren Sie bitte auf dem Verlaufsbogen, falls ein Ereignis außerhalb des Sports Ihr Befinden stark beeinträchtigt (Krankheit, Familie, Beruf, etc.)

### C) Herzfrequenz und Herzfrequenzvariabilität

- + Messen Sie bitte beide Werte täglich über einen Zeitraum von 10-15 Minuten morgens direkt nach dem Aufwachen
- + Beachte Sie bitte die Instruktionen zur Vorgehensweise bei der Messung sorgfältig, da sich die Werte schnell verändern können

### D) Leistungstests

- + Es sollen drei Leistungstests durchgeführt werden (am Ende der ersten Messphase, 2-3 Tage nach erfolgreicher Beendigung oder Abbruch des Deutschlandlaufs sowie 2 Wochen nach Beendigung des Deutschlandlaufs)
- + Die Leistungstests finden in einem diagnostischen Institut in der Nähe Ihres Wohnorts statt
- + Bitte bringen Sie die Testinstruktionen mit zu den Tests

### E) Allgemeines

- + Mailen bzw. schicken Sie uns bitte nach Ablauf der Normwertmessungen (2-3 Wochen oder wie individuell vereinbart) die Befindlichkeitsfragebögen, Trainings- und Wettkampfprotokolle, den Verlaufsplan sowie die Pulsuhr mit Brustgurt und die Testprotokolle zu
- + Die Messungen werden während des Deutschlandlaufs und der folgenden Regenerationswochen in gleicher Form wiederholt
- + Auf der folgenden Seiten ist exemplarisch ein Verlaufsplan dargestellt; er soll helfen, die durchzuführenden Messungen übersichtlich abzuheften

## Verlaufsplan

**Verlaufsplan Woche** (von . .2008 - . .2008)

	<u>Montag</u>	<u>Dienstag</u>	<u>Mittwoch</u>	<u>Donnerst.</u>	<u>Freitag</u>	<u>Samstag</u>	<u>Sonntag</u>
Trainingsprotokoll	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Wettkampfprotokoll	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Fragebogen Befindlichkeit	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Herzfrequenz/Herzfrequenzvariabilität	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Besondere Ereignisse, Probleme, Krankheiten							
Leistungstest Laufband	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

## **Messung der Ruheherzfrequenz und Herzfrequenzvariabilität am Morgen**

### **a.) allgemeine Hinweise**

Die Herzfrequenzvariabilität ist ein extrem sensibler Parameter. Bei der Messung der morgendlichen Ruheherzfrequenz und der Herzfrequenzvariabilität müssen Sie daher folgende standardisierte Bedingungen gewährleisten, um interpretierbare Werte zu erhalten:

- Jede Messung sollte nach dem Aufwachen erfolgen, sie sollten noch nicht gefrühstückt, nichts getrunken und normal geschlafen haben, ohne am Vorabend Alkohol zu sich genommen zu haben (Je weniger sich die Schlafdauer unterscheidet, desto aussagekräftiger sind die Ergebnisse).
- Gewährleisten Sie eine für Sie persönlich ausreichende 2-5minütige Entspannungsphase vor der Messung. Führen Sie die Messung mit entleerter Blase durch.
- Sorgen Sie dafür, dass Sie während der Messung von nichts gestört werden (Telefon, Wecker, etc.). Falls doch, müssen Sie die Messung wiederholen und sollten dies auf dem Protokollbogen vermerken.
- Vermeiden Sie es, während der Messung einzuschlafen. Auch dies verfälscht die Ergebnisse und die Messung muss wiederholt werden.
- Atmen Sie während der gesamten Messung ruhig und regelmäßig. Bleiben Sie in der gleichen Körperposition (am besten liegend)
- Führen Sie die gesamten Messungen in identischer Position durch (s.o. – am besten liegend)
- Schließen Sie während der gesamten Messung die Augen.
- Je identischer die Messbedingungen und Messgegebenheiten sind, desto aussagekräftiger sind die Ergebnisse.
- Sollten Sie eine morgendliche Messung versäumen, holen Sie diese bitte nicht zu einer anderen Tageszeit nach. Sinnvoll ist es, die 2wöchige Messphase dann um einen oder mehrere Tage zu verlängern.
- Bitte verwenden Sie die Messuhr nur für die morgendlichen Messungen, da die Uhren nur eine begrenzte Speicherkapazität besitzen.

Schicken Sie uns bitte die Pulsuhr nach der 2wöchigen Messphase versichert als Päckchen per Nachnahme zurück.

### **b.) Messinstruktionen**

Die Messungen werden mit der Polar S 810 i bzw. der Polar RS 800 durchgeführt. Sinnvoll ist es, die Sensoren leicht zu befeuchten. Nach dem Anlegen des Messgurtcs drücken Sie zum Start des Messvorgangs den roten Knopf auf der Messuhr und warten, bis Ihre Herzfrequenz auf dem Display erscheint. Ein zweites Drücken dieses Knopfes startet den Messvorgang. Zum Beenden der Messung drücken Sie bitte den linken unteren Knopf der Uhr. Ein zweites Drücken dieses Knopfes bringt Sie zurück ins Hauptmenü.

Die Messdauer sollte zwischen 10 und 15 Minuten betragen, geringfügige Abweichungen sind unproblematisch.

## **Studie Deutschlandlauf 2008**

<b>Name:</b>	<b>Vorname:</b>	<b>Geb.-Datum:</b>
<b>Gewicht:</b>	<b>Größe:</b>	<b>Datum:</b>

**1. Trainingsumfang:**

ca. \_\_\_\_\_ Stunden pro Woche (Jahresdurchschnitt gesamtes Training)

ca. \_\_\_\_\_ Kilometer pro Woche (Jahresdurchschnitt Lauftraining)

**2. Ich trainiere seit \_\_\_\_\_ Jahren im Ausdauerbereich.**

**3. Neben meinem Sport arbeite ich \_\_\_\_\_ Stunden wöchentlich.**

**4. Ich nehme zum \_\_\_\_\_ . Mal an einem Etappenmarathon teil.**

**5. Ich dokumentiere mein Training mithilfe von:**

\_\_\_\_\_

**6. Herzfrequenzmessung:**

**Ich verwende ein Pulsmessgerät:** ja ☐ nein ☐

**Falls ja, folgendes Modell:** \_\_\_\_\_

**7. Ich besitze einen PC und Internetanschluss:** ja ☐ nein ☐

**8. Ich nehme regelmäßig Medikamente ein:** ja ☐ nein ☐

**Falls ja, folgende:** \_\_\_\_\_

**9. Ich plane, vor dem Deutschlandlauf eine Leistungsdiagnostik durchzuführen:** ja ☐ nein ☐

**10. Falls nein, besteht Interesse an einer Leistungsdiagnostik?**

ja ☐ nein ☐

**11. Anmerkungen bzw. Fragen:** \_\_\_\_\_

**Vielen Dank!**



## Befindlichkeitsfragebogen

Dies ist eine Liste von Wörtern, mit denen man beschreiben kann, wie man sich augenblicklich fühlt. Bitte gehen Sie die Wörter der Liste nacheinander durch und entscheiden Sie sofort bei jedem Wort, inwieweit es für Ihr augenblickliches Befinden zutrifft.

Sie können jeweils zwischen 5 Antwortmöglichkeiten auswählen:

“1“ bedeutet: trifft für mein augenblickliches Befinden gar nicht zu

“2“ bedeutet: trifft für mein augenblickliches Befinden kaum zu

“3“ bedeutet: trifft für mein augenblickliches Befinden sowohl zu, als auch nicht zu, d.h. ich befinde mich in der Mitte

“4“ bedeutet: trifft für mein augenblickliches Befinden ziemlich zu

“5“ bedeutet: trifft für mein augenblickliches Befinden sehr stark zu

Wichtig:

- Beurteilen Sie nur, wie Sie sich augenblicklich fühlen
- Geben Sie die Antwort, die Ihnen unmittelbar in den Sinn kommt
- Wenn Ihnen die Antwort schwer fällt, nennen Sie diejenige, die am ehesten zutrifft
- Bitte kreuzen Sie bei jedem Wort eine Antwort an und lassen Sie keines der Wörter aus

**Datum:**  
**Uhrzeit:**

**Name:**

		<b>gar nicht</b>	<b>kaum</b>	<b>sowohl als auch</b>	<b>ziemlich</b>	<b>stark</b>
1	gedrückt	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	ruhelos	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	unbeschwert	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4	betrübt	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5	nachdenklich	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6	frisch	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7	passiv	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8	missmutig	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9	traurig	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10	beschaulich	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11	ärgerlich	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
12	nach innen gekehrt	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
13	angeregt	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
14	locker	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
15	nervös	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

16	niederge- schlagen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
17	gelöst	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
18	träumerisch	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
19	angenehm	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
20	verkrampft	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
21	energielos	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
22	lasch	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
23	unglücklich	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
24	sauer	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
25	träge	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
27	gereizt	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
28	ausgezeichnet	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
29	entspannt	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
30	voller Energie	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
31	besinnlich	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
32	ruhig	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
33	tatkräftig	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
34	aktiv	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
35	kribbelig	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
36	gut gelaunt	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

37	mürrisch	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
38	gelassen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
39	freudig	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
40	lahm	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

**Gibt es im Moment ein Ereignis, das Sie negativ belastet oder positiv bewegt?**

**JA** ☐ **Stichpunkte (optional):**

**NEIN** ☐

## Mood questionnaire

This is a list of words with which one can describe how one feels at a particular moment. Please go through the list and decide for each word, up to which degree it corresponds with how you feel momentarily.

You can choose between 5 categories.

“1“ means: is not at all true for my momentary mood.

“2“ means: is hardly true for my momentary mood

“3“ means: is true, but also not true – I’m in the middle/in between

“4“ means: relatively strong

“5“ means: very strong

Important:

- Just evaluate how you are feeling at the very moment you are filling in the questionnaire
- Give the sort of answer that comes to your mind in first place
- If you have difficulty in choosing an answer, choose the one which you think describes the way you feel best
- Please don't leave out any of the words

**Date:**

**Name:**

**Time:**

		<b>not at all</b>	<b>hardly</b>	<b>sometimes</b>	<b>relatively strong</b>	<b>very strong</b>
1	down	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	restless	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	light-hearted	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4	distressed	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5	pensive	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6	fresh	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7	passive	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8	despondent	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9	sad	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10	contemplative	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11	annoyed	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
12	withdrawn	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
13	inspired	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
14	relaxed	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
15	nervous	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

16	depressed	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
17	easy	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
18	dreamy	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
19	pleasant	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
20	tense	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
21	weak	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
22	limp	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
23	unhappy	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
24	angry	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
25	phlegmatic	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
26	stressed	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
27	irritated	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
28	excellent	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
29	at ease	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
30	full of energy	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
31	tranquil	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
32	calm	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
33	energetic	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
34	active	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
35	aflutter	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

36	in a good mood	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
37	grumpy	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
38	laid-back	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
39	happy	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
40	lame	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

**Is there any specific event that momentarily affects your emotions in a negative way?**

**YES**      ☐      **notes (optional):**

**NO**      ☐



## Trainingsprotokoll

<b>Name:</b> _____	<b>Vorname:</b> _____	<b>Datum:</b> _____
<b>Geb.:</b> _____	<b>Gewicht:</b> _____	<b>Größe:</b> _____

- **Anzahl der Trainingseinheiten heute:** \_\_\_\_\_
- **heutige Trainingsdauer gesamt:** \_\_\_\_\_ Minuten
- **Ausdauertraining:**

**Inhalt****Belastungsumfang****Strecke in Kilometer/Zeit in Min.**

Dauermethode \_\_\_\_\_ km/ \_\_\_\_\_ Min.

**Anzahl Läufe/Strecke+Zeit (insgesamt)**

Intervalltraining \_\_\_\_\_ m \_\_\_\_\_ Min.

- **Krafttraining**

**Anzahl Serien/Anzahl Wiederholungen**

Serien/Wiederholungen gesamt: \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_

Gesamtdauer Krafttraining (incl. Serienpausen) \_\_\_\_\_ Minuten

- **Sonstiges Training**

**Inhalt:** \_\_\_\_\_**Belastungsdauer:** \_\_\_\_\_ Min.

- **Anstrengungsempfinden:** Als wie anstrengend habe ich das Training heute empfunden? (bei mehreren Einheiten die anstrengendste Einheit)

20	<input type="checkbox"/>	maximale Anstrengung
19	<input type="checkbox"/>	extrem hart
18	<input type="checkbox"/>	
17	<input type="checkbox"/>	sehr hart
16	<input type="checkbox"/>	
15	<input type="checkbox"/>	hart
14	<input type="checkbox"/>	
13	<input type="checkbox"/>	ein wenig hart
12	<input type="checkbox"/>	
11	<input type="checkbox"/>	locker
10	<input type="checkbox"/>	
9	<input type="checkbox"/>	sehr locker
8	<input type="checkbox"/>	extrem locker
7	<input type="checkbox"/>	
6	<input type="checkbox"/>	überhaupt keine Anstrengung

## Wettkampfprotokoll

<b>Name:</b>	<b>Vorname:</b>	<b>Datum:</b>
<b>Gewicht:</b>		

- **Befindlichkeit:** Wie fühlen Sie sich heute vor dem Wettkampf? (10% = sehr schlecht, 100% = außerordentlich gut)

10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

- **Wettkampfmotivation:** Wie stark sind Sie für den heutigen Wettkampf motiviert? (10% = gar nicht motiviert, 100% = außerordentlich motiviert)

10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

- **Wettkampfdauer gesamt:** \_\_\_\_\_ Minuten

- **zurückgelegte Distanz:** \_\_\_\_\_ km

- **Art des Wettkampfes:** \_\_\_\_\_

- **Gab es im heutigen Wettkampf ein Ereignis, das Sie besonders geärgert, gestresst, genervt oder gefreut und positiv bewegt hat? (Stichwörter)**

\_\_\_\_\_

- **Wie zufrieden sind Sie mit Ihrer heutigen Gesamtleistung?** (10% = gar nicht zufrieden, 100% = außerordentlich zufrieden)

10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

- **Anstrengungsempfinden:** Als wie anstrengend haben Sie den Wettkampf heute empfunden?

20	<input type="checkbox"/>	maximale Anstrengung
19	<input type="checkbox"/>	extrem hart
18	<input type="checkbox"/>	
17	<input type="checkbox"/>	sehr hart
16	<input type="checkbox"/>	
15	<input type="checkbox"/>	hart
14	<input type="checkbox"/>	
13	<input type="checkbox"/>	ein wenig hart
12	<input type="checkbox"/>	
11	<input type="checkbox"/>	locker
10	<input type="checkbox"/>	
9	<input type="checkbox"/>	sehr locker
8	<input type="checkbox"/>	extrem locker
7	<input type="checkbox"/>	
6	<input type="checkbox"/>	überhaupt keine Anstrengung

## Informationen Leistungstest

### Standardbedingungen für Laufbandtest

Um beim Laufbandtest objektive und vergleichbare Ergebnisse zu erhalten, müssen bestimmte Standards eingehalten werden, die wir hier für Sie zusammengefasst haben.

- Sie sollten auf jeden Test gleich gut vorbereitet sein; idealerweise wie auf einen Wettkampf
- Die Tests sollten zu identischer Tageszeit stattfinden
- 48 Stunden vor dem Test sollte kein Wettkampf und kein sehr intensives oder sehr umfangreiches Training stattgefunden haben
- Sie sollten sich 5 Minuten auf dem Testgerät locker Aufwärmen
- Die letzte Mahlzeit sollte wie gewohnt stattfinden, idealerweise nicht in den letzten drei Stunden vor dem Test
- Sie sollten auf Alkohol am Vorabend verzichten
- Sie sollten sich zu einer maximalen Ausbelastung beim Test antreiben
- Die Testgeräte müssen bei allen Tests identisch sein
- Die Laktatentnahmestelle muss im Protokoll vermerkt sein
- Das Laufband muss exakt gerade eingestellt sein (keine Steigung)

#### Sehr wichtig:

- Die Anfangsbelastung für die erste Stufe beträgt 10 km/h
- Die Stufendauer beträgt 3 Minuten
- Zwischen jeder Stufe sind 30 Sekunden Pause zur Laktatentnahme (vorzugsweise Ohr; Laktatentnahmestelle muss immer gleich sein!)
- Die Laktatbestimmung erfolgt nach jeder Stufe sowie nach Abbruch des Tests
- Die Geschwindigkeitssteigerung von Stufe zu Stufe beträgt 1,8 km/h (0,5 m/s)
- Bitte füllen Sie zu jedem Test das Testprotokoll aus (davor plus danach)
- Bitte übersenden Sie uns das vor Ort angefertigte Testprotokoll oder eine Kopie davon

## Stufentest Laufband

Name: \_\_\_\_\_ Vorname: \_\_\_\_\_ Datum: \_\_\_\_\_  
Uhrzeit: \_\_\_\_\_

- **Hatten Sie die letzten 48 Stunden vor dem Leistungstest einen Wettkampf/hartes Training von >60 Min./Training mittlerer Intensität von >120 Min./Training von mehreren Stunden?**

ja ☐      nein ☐

- **Haben Sie am Vorabend Alkohol zu sich genommen?**

ja ☐      nein ☐

- **Machen Sie zur Zeit eine Diät?**

ja ☐      nein ☐

- **Wann haben Sie die letzte Mahlzeit eingenommen?**

- **Waren Sie in den letzten 14 Tagen krank?**

ja ☐      nein ☐

- **Befindlichkeit:** Wie fühlen Sie sich heute vor dem Leistungstest (10% = sehr schlecht, 100% = außerordentlich gut)

10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

- **Motivation:** Wie stark sind Sie für den heutigen Leistungstest motiviert? (10% = gar nicht motiviert, 100% = außerordentlich motiviert)

10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

- **Anstrengungsempfinden:** Als wie anstrengend haben Sie den heutigen Laufband-Stufentest empfunden?

20	<input type="checkbox"/>	maximale Anstrengung
19	<input type="checkbox"/>	extrem hart
18	<input type="checkbox"/>	
17	<input type="checkbox"/>	sehr hart
16	<input type="checkbox"/>	
15	<input type="checkbox"/>	hart
14	<input type="checkbox"/>	
13	<input type="checkbox"/>	ein wenig hart
12	<input type="checkbox"/>	
11	<input type="checkbox"/>	locker
10	<input type="checkbox"/>	
9	<input type="checkbox"/>	sehr locker
8	<input type="checkbox"/>	extrem locker
7	<input type="checkbox"/>	
6	<input type="checkbox"/>	überhaupt keine Anstrengung

**Anmerkungen zum Test:**

## Fragebogen zum Abschluss des Deutschlandlaufs

### Studie Deutschlandlauf 2008

**Name:**

**Vorname:**

**Datum:**

- 1.) Wie schwer ist es Ihnen gefallen, den Deutschlandlauf zu absolvieren? Bitte benennen Sie den Anstrengungsgrad mithilfe der Borg-Skala (6-20).

Kommentar:

- 2.) Hatten Sie den Eindruck, deutlich über Ihrem Leistungsvermögen laufen zu müssen?

- 3.) Gab es einen Tag, an dem Sie einen Leistungseinbruch verspürt hatten? Falls ja, konnten Sie sich von diesem erholen?

- 4.) Wie fühlen Sie sich nach dem Deutschlandlauf (10% = sehr schlecht, 100% = außerordentlich gut)

10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Kommentar:

- 5.) Haben Sie das Gefühl, nun geistig oder körperlich total erschöpft und ausgebrannt zu sein? Fühlen Sie sich überbelastet?

- 6.) Haben Sie den DL komplett absolviert?  
Falls nein, welche Gründe führten zum Abbruch des Deutschlandlaufs?

- 7.) Fühlen Sie sich imstande, Ihr normales Trainingspensum ohne nennenswerte Pause weiter durchzuführen?

- 8.) Welche gesundheitlichen Beschwerden machten sich während des Deutschlandlaufs bemerkbar?

**Vielen herzlichen Dank für Ihre Teilnahme!**



**Studie Deutschlandlauf 2008****Name:****Vorname:****Datum:**

- 1.) Wie fühlen Sie sich nach 2 Wochen nach Beendigung des Deutschlandlaufs  
(10% = sehr schlecht, 100% = außerordentlich gut)

10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Kommentar:

- 2.) Haben Sie den Eindruck, sich ausreichend vom Deutschlandlauf erholt zu haben?

Ja ☐Nein ☐

Kommentar:

- 3.) Haben Sie bereits wieder trainiert?

Ja ☐Nein ☐

Kommentar:

- 4.) Fühlen Sie sich geistig und körperlich ausgeruht?

Ja ☐Nein ☐

Kommentar:

5.) Können Sie sich jetzt vorstellen, in absehbarer Zeit (1 Jahr) einen weiteren Etappenmarathon zu absolvieren?

Ja ☐

Nein ☐

Kommentar:

6.) Fühlen Sie sich imstande, Ihr normales Trainingspensum wieder aufzunehmen?

Ja ☐

Nein ☐

Kommentar:

7.) Welche gesundheitlichen Beschwerden haben Sie immer noch?

**Vielen Herzlichen Dank!**

## Borg-Skala

### Instruktion für Athleten

*Während des Trainings und Deutschlandlaufs wollen wir, dass Sie Ihr Empfinden der Anstrengung bewerten. Sie sollten dafür diese Skala verwenden, auf der 6 überhaupt keine Anstrengung und 20 eine maximale Anstrengung darstellt. Ziffer 9 ist eine sehr lockere körperliche Belastung, wie einige Minuten langsames Spazieren (für gesunde Leute). Ziffer 13 auf dieser Skala ist eine schon etwas harte Belastung. Es geht aber immer noch gut, und Sie sollten keine Probleme haben, so weiter zu machen. Wenn Sie zu Ziffer 17 kommen, ‚sehr hart‘, ist es wirklich sehr anstrengend, Sie können zwar noch weiter machen, jedoch müssen Sie sich dazu sehr stark antreiben. Die Ziffer 19 ist schon eine extrem anstrengende Belastung. Für die meisten Leute ist diese Belastung gleichbedeutend mit der größten körperlichen Anstrengung, die sie bisher erlebt haben. Versuchen Sie, Ihr Gefühl der Anstrengung so ehrlich wie möglich abzuschätzen. Sie sollten es weder unterschätzen, noch überschätzen. Einige Leute sind ein bisschen zu wenig sensibel oder wollen ‚tapfer‘ sein und beurteilen die Anstrengung zu tief. Versuchen Sie, die Anstrengung so zu beurteilen, wie Sie sie wahrnehmen.*

*Sie können sowohl eine ganze, als auch halbe Zahl angeben. Bei halben Zahlen ergänzen Sie bitte ein ,5 hinter der angegebenen Zahl (z.B.: 17,5).*

20__	<input type="checkbox"/>	<b>maximale Anstrengung</b>
19__	<input type="checkbox"/>	<b>extrem hart</b>
18__	<input type="checkbox"/>	
17__	<input type="checkbox"/>	<b>sehr hart</b>
16__	<input type="checkbox"/>	
15__	<input type="checkbox"/>	<b>hart</b>
14__	<input type="checkbox"/>	
13__	<input type="checkbox"/>	<b>ein wenig hart</b>
12__	<input type="checkbox"/>	
11__	<input type="checkbox"/>	<b>locker</b>
10__	<input type="checkbox"/>	
9 __	<input type="checkbox"/>	<b>sehr locker</b>
8 __	<input type="checkbox"/>	<b>extrem locker</b>
7 __	<input type="checkbox"/>	
6 __	<input type="checkbox"/>	<b>überhaupt keine Anstrengung</b>

## **Institutsliste**

### **Institute, an denen die Leistungstests durchgeführt wurden:**

- Reha-Zentrum für Kardiologie, Neurologie und Orthopädie Oldenburg, Brandenburger Str. 31, 26133 Oldenburg
- Institut für Sportmedizin im Klinikum Nürnberg Süd, Breslauer Str. 201, 90471 Nürnberg
- Medicos Osnabrück, Gesundheits- und Leistungsdiagnostik, Weidenstraße 2-4, 49080 Osnabrück
- Mantra Sport, Gnejsvagen 6B, 75242 Uppsala, Schweden
- Sportmedizinische Abteilung des Olympiastützpunkts Stuttgart, Mercedesstraße 83, 70372 Stuttgart
- Abteilung Rehabilitative und Präventative Sportmedizin im Universitätsklinikum Freiburg, Hugstetter Straße 55, 79106 Freiburg

## SPSS-Syntax

```

SORT CASES BY PB_ID.
SPLIT FILE SEPARATE BY PB_ID.
UNIANOVA MeanHRlmin BY Messphase
  /METHOD = SSTYPE(3)
  /INTERCEPT = INCLUDE
  /POSTHOC = Messphase(SCHEFFE)
  /PRINT = HOMOGENEITY DESCRIPTIVE
  /CRITERIA = ALPHA(.05)
  /DESIGN = Messphase.

```

```

UNIANOVA STDRrms BY Messphase
  /METHOD = SSTYPE(3)
  /INTERCEPT = INCLUDE
  /POSTHOC = Messphase(SCHEFFE)
  /PRINT = HOMOGENEITY DESCRIPTIVE
  /CRITERIA = ALPHA(.05)
  /DESIGN = Messphase.

```

```

UNIANOVA RMSSDms BY Messphase
  /METHOD = SSTYPE(3)
  /INTERCEPT = INCLUDE
  /POSTHOC = Messphase(SCHEFFE)
  /PRINT = HOMOGENEITY DESCRIPTIVE
  /CRITERIA = ALPHA(.05)
  /DESIGN = Messphase.

```

```

UNIANOVA ar_HFms2 BY Messphase
  /METHOD = SSTYPE(3)
  /INTERCEPT = INCLUDE
  /POSTHOC = Messphase(SCHEFFE)
  /PRINT = HOMOGENEITY DESCRIPTIVE
  /CRITERIA = ALPHA(.05)
  /DESIGN = Messphase.

```

```

UNIANOVA Bef.Positiv BY Messphase
  /METHOD = SSTYPE(3)
  /INTERCEPT = INCLUDE
  /POSTHOC = Messphase(SCHEFFE)
  /PRINT = HOMOGENEITY DESCRIPTIVE
  /CRITERIA = ALPHA(.05)
  /DESIGN = Messphase.

```

```

UNIANOVA Bef.Neg BY Messphase
  /METHOD = SSTYPE(3)
  /INTERCEPT = INCLUDE
  /POSTHOC = Messphase(SCHEFFE)
  /PRINT = HOMOGENEITY DESCRIPTIVE
  /CRITERIA = ALPHA(.05)
  /DESIGN = Messphase.

```

## Lebenslauf

Name: Bossmann  
Vorname: Thomas  
Geburtsdatum: 21.10.1973  
Geburtsort: Wiesbaden  
Familienstand: ledig  
Staatsangehörigkeit: deutsch  
Konfession: evangelisch  
Anschrift: Kaindlstraße 32, 70569 Stuttgart  
Eltern: Horst Bossmann, Christa Bossmann (geb. Born)  
Schulausbildung: 1981-1985 Grundschule Walluftal in Walluf  
1985-1990 Rheingaugymnasium Eltville  
1990-1993 Carl-von-Ossietzky Schule Wiesbaden  
Abitur: Mai 1993  
Zivildienst: 1993-1995 Zivildienst Kreuzkirchengemeinde Wiesbaden  
Hochschulstudium: SS 1995 – WS 2000 Studium der Fächer Sport und Englisch für das  
Lehramt an Gymnasien an der Universität Kassel  
August 1996 – Januar 1997 Auslandsstudium an der Florida  
International University (FIU), Miami, USA  
August 1998 – Januar 1999 Auslandsstudium an der Loughborough  
University in Loughborough, England  
Abschluss: 1. Staatsexamen mit Auszeichnung (1,3), Dezember 2000  
Thema der Examensarbeit: Konditionelle Anforderungen im  
Tischtennis  
Referendariat: 05/2001 – 05/2003 am Friedrichsgymnasium Kassel,  
2. Staatsexamen (1,9), Mai 2003  
Berufstätigkeit: 09/2003 – 07/2004 befristetes Angestelltenverhältnis am Amos-  
Comenius-Gymnasium in Bonn  
09/2004 – 01/2005 befristetes Angestelltenverhältnis an der HEBO-  
Privatschule in Bonn  
02/2005 – 05/2005 befristetes Angestelltenverhältnis an der Georg-  
Christoph-Lichtenberg Schule in Kassel  
03/2005 – 07/2006 befristetes Angestelltenverhältnis an der Joseph-von-  
Eichendorff-Schule in Kassel

08/2005 – 07/2006 befristetes Angestelltenverhältnis an der Wilhelm-Leuschner-Schule in Niestetal-Heiligenrode

09/2006 – 10/2010 Elisabeth-Selbert-Schule in Zierenberg

seit 15.10.2010 wissenschaftlicher Mitarbeit am Institut für Sport- und Bewegungswissenschaft der Universität Stuttgart

#### Wissenschaftlicher

Werdegang: 04/2005 – 10/2007: Promotion am sportwissenschaftlichen Institut der Universität Kassel zum Thema '*Psychologische und physiologische Prädiktoren von Übertraining – eine Untersuchung in der Sportart Tischtennis*'

seit 03/2008: Promotion am sportwissenschaftlichen Institut der Universität Bayreuth zum Thema '*Auswirkungen eines Ultralangstreckenlaufs auf ausgewählte physiologische und psychologische Parameter als mögliche Marker von Überbelastungen - Eine Untersuchung von Teilnehmern des Deutschlandlaufs 2008*'